Бошко Миловановић

ПРИРОДНИ ФАКТОРИ КОЛЕБАЊА КЛИМЕ У СРБИЈИ

Београд
2017

GEOGRAPHICAL INSTITUTE "JOVAN CVIJIĆ"
SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

SPECIAL ISSUES
No. 93

Boško Milovanović

NATURAL CAUSES OF CLIMATE VARIABILITY IN SERBIA

Belgrade
2017

ГЕОГРАФСКИ ИНСТИТУТ „ЈОВАН ЦВИЈИЋ“
СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

ПОСЕБНА ИЗДАЊА
КЊИГА 93

Бошко Миловановић

ПРИРОДНИ ФАКТОРИ КОЛЕБАЊА КЛИМЕ У СРБИЈИ

Београд
2017

ИЗДАВАЧ / PUBLISHER
Географски институт „Јован Цвијић” САНУ
Ђуре Јакшића 9, 11000 Београд, Република Србија
Geographical institute “Jovan Cvijić” SASA
Djure Jakšića 9, 11000 Belgrade, Republic of Serbia
Tel/fax: + 381 11 2637 597; e-mail: general@gi.sanu.ac.rs

ЗА ИЗДАВАЧА / ACTING PUBLISHER
Милан Радовановић / Milan Radovanović

Прихваћено на седници Уређивачког одбора Института 28. 11. 2016.
Accepted at the meeting of the Editorial Board of the Institute on November 28th 2016.

УРЕДНИК / EDITOR
Милан Радовановић / Milan Radovanović

РЕЦЕНЗЕНТИ / RECENZENTI
Проф. др Владан Дуцић / Prof. dr Vladan Ducić
Проф. др Милутин Тадић / Prof. dr Milutin Tadić
Проф. др Горан Анђелковић / Prof. dr Goran Anđelković

ПРЕВОД / TRANSLATION
Бошко Миловановић / Boško Milovanović

ТЕХНИЧКА ПРИПРЕМА / PRE–PRESS EDITING
Драган Шћекић / Dragan Šćekić

ДИЗАЈН КОРИЦА / COVER DESIGN
Драган Шћекић / Dragan Šćekić

КАРТОГРАФСКА ОБРАДА / MAP DESIGN
Милован Миливојевић / Milovan Milivojević
Мирела Бутирић / Mirela Butirić

ТИРАЖ / CIRCULATION
300

ШТАМПА / PRINTED BY
Колорграфикс доо, Београд / Colorgrafx doo, Beograd

ШТАМПАЊЕ ПУБЛИКАЦИЈЕ ОМОГУЋИЛО ЈЕ
Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

PRINTING OF THE PUBLICATION WAS SUPPORTED BY
Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia

Садржај

Захвалност

Аутор дугује захвалност главном уреднику и рецензентима на корисним сугестијама током израде монографије.

Монографија је резултат рада на пројекту III 47007 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Увод

Тема климатских промена последњих година заокупља пажњу научне заједнице широм света. Чини се да је у научним публикацијама много више пажње посвећено антропогеном утицају него природним факторима формирања климе. Међутим, Robock (2000) и Weng (2005) примећују да адекватна процена антропогеног ефекта на колебање климе, захтева претходну оцену и других климатских фактора као што су Сунчева и вулканска активност (којима Douglass & Clader (2002) уз истоветан исказ додају и оцену Ел Нињо/Ла Ниња догађаја). С обзиром на то да Сунце представља главни спољашњи извор енергије за Земљу, као и да утицај снажних вулканских ерупција кроз избацивање огромних количина аеросола у атмосферу „представља аналог последица удара метеорита или нуклеарне зиме“ Robock (2000), у раду је пажња посвећена овим климатским факторима.

Када се говори о утицају Сунчеве активности на климу Земље, треба имати у виду да постоје два аспекта оваквих истраживања. Први аспект се односи на периодичне промене параметара Земљине орбите, односно на „Миланковићеве циклусе“ (Пантић 2001) трајања од око 20 000; 40 000 и 100 000 година, који су због утицаја на просторну и сезонску расподелу количине енергије коју Земља прима са Сунца резултовали сменом глацијала и интерглацијала. Други аспект се односи на промене у самом Сунцу, односно Сунчевој активности и њиховој вези са климом Земље.

Прва хипотеза која је постављена у овој књизи јесте да постоји веза између промена у показатељима Сунчеве активности и промена у климатском систему Земље (прецизније Светском мору, односно појединим океанским басенима и атмосфери, односно показатељима циркулације атмосфере за које се претпоставља да могу утицати на колебања климе у Србији).

Постављена хипотеза темељи се на разматрањима Christiansena, Haigha & Lundstedta (2007) који наводе да је у истраживању климатских промена на Земљи, од кључне важности концепт „радијационог форсирања“ у коме услед промена у саставу атмосфере, количини енергије која доспева од Сунца, или промена у албеду долази до промена температуре на Земљи. Исти аутори указују да утицај количине енергије која доспева са Сунца има више аспеката.

Представљена кроз укупну Сунчеву радијацију, ова енергија утиче на различито загревање слојева атмосфере (највише кроз ултравиолетно зрачење које учествује у загревању стратосфере и које, иако представља свега неколико процената у укупној Соларној радијацији, доприноси са око 15% варијабилитету укупне Соларне радијације – Ruzmaikin 2007), апсорпцију топлоте у океанима на временским скалама које се разликују од оних у атмосфери и различито загревање копна и океана. То за последицу има промене у циркулацији атмосфере, садржају водене паре у атмосфери и промене у облачности. Као главни приговор овом механизму, поменути истраживачи наводе да су промене у укупној Сунчевој радијацији исувише мале да би објасниле промене температуре у тропосфери и да је потребно пронаћи и објаснити механизам амплификације у коме мале промене у укупној Сунчевој радијацији изазивају знатно веће промене у температурама тропосфере. Међутим, Meehl et al. (2008) су анализирајући одговор удвојеног система океан-атмосфера у тропским и суптропским ширинама Пацифика на промене у укупној Соларној радијацији, показали да пораст количине енергије која доспева са Сунца и бива апсорбована у океан, повећава износ латентне топлоте и влаге која се транспортује у интертропску зону конвергенције, ширећи при том Хадлејеву циркулациону ћелију по правцу север-југ и појачавајући Вокерову циркулацију по правцу исток-запад. Meehl et al. (2008) и van Loon, Meehl & Shea (2007) указују да поменути механизам у садејству са променама количине озона, односно загревањем стратосфере услед промена у ултравиолетном делу спектра Сунчевог зрачења, може довести до појачавања климатског одговора Земље.

Друга хипотеза постављена у овом раду садржана је у констатацији да промене површинске температуре воде (у појединим деловима) Атлантског океана имају значајну улогу у циркулацији атмосфере изнад овог океанског басена. Исходиште ове хипотезе је у сажетом објашњењу које наводи Bigg (2003) и према којој је распоред ваздушног притиска на Земљи и под утицајем загревања или хлађења подлоге изнад које се ваздух налази. Суптропски појас представља зону супсидиенције ка којој у вишим деловима тропосфере конвергира ваздух из нижих географских ширина, што на површини за резултат има појаву високог ваздушног притиска. Али и амплитуде температуре ваздуха изнад океана су знатно мање него изнад копна (услед већег топлотног капацитета воде), тако да се у суптропском појасу океана одржава много стабилнији распоред притиска (у односу на знатно веће варијације притиска изнад копна узрокованог његовим интензивнијим загревањем односно хлађењем).

Уопштено говорећи, ниже температуре воде погодују порасту ваздушног притиска (и обрнуто, више температуре воде доприносе снижавању ваздушног притиска). Источни делови океана у суптропским ширинама су хладнији него средишњи и западни, јер је атмосферска циркулација усмерена према екватору због геострофског усмерења антициклоналног струјања, што доводи до узлазног струјања хладнијих вода са већих дубина и одржавању стабилних антициклоналних поља у овим ширинама. Са друге стране, океанске струје из нижих (суптропских) ширина западних делова океанских басена (Атлантског такође) доносе огромне количине топле воде у субполарне ширине, у којима кроз трансфер латентне топлоте доприносе појави циклогенезе у овим ширинама која је овде и иначе предиспонирана због сусрета хладног поларног и топлог ваздуха из умерених и суптропских ширина (тзв. Атлантски поларни фронт).

Исти аутор наводи да у умереним ширинама постоји снажна веза између температуре мора и циркулације атмосфере. Ако се Северноатлантски дрифт[1] хлади и клима изнад западне Европе ће бити хладнија и сувља јер је мање преноса латентне топлоте која би потпомогла циклогенезу. И супротно, уколико је Северноатлантски дрифт топлији, чешћа је појава циклона, а клима западне Европе топлија и влажнија. Међутим, с обзиром на то да су резултати који се односе на испитивање ове хипотезе већ објављени у Миловановић, Радовановић & Дуцић (2009) и Миловановић, Радовановић & Јојић-Главоњић (2010), у овој књизи они неће бити детаљно обрађени.

Трећа хипотеза постављена у овом раду је да колебања климе у Србији (температуре ваздуха и количине падавина) првенствено зависе од промена у атмосферској циркулацији. Сажето образложење ове хипотезе је да физичка својства ваздушних маса и њихова географска расподела имају велико практично значење, јер заправо оне одређују ток времена на великим пространствима, односно у зонама на контакту или сукобу различитих ваздушних маса. Упознати климу једног краја значи заправо упознати својства ваздушних маса под чијим се утицајем налази (Šegota 1976).

[1] Северноатлантска или Ирска струја према Дукић & Гавриловић (2006).

Теоријски контекст истраживања

Климу као „промењивост временских прилика изнад неког простора у одређеном временском периоду, представљену статистичким показатељима метеоролошких елемената“ (Dunlop, 2001), детерминише мноштво климатских фактора, као и многобројне повратне спреге које постоје између њих. У једном ширем смислу, клима се може схватити и као манифестација интеракција у оквиру климатског система који поред атмосфере укључује и хидросферу, површину Земље, криосферу и биосферу, али и везу климатског система са варијацијама Сунчеве активности и дугопериодичним променама параметара Земљине орбите (McGregor 2006).

Palamara (2003) проблеме везане за истраживање климатског система и односа Сунце-Земља класификује у четири групе: 1. комплексност поменутог односа која укључује познавање многих научних области (од астрофизике, преко астрономије до наука које се тичу проучавања атмосфере); 2. проблем са квалитетом и дужином низова који се односе на Сунчеву активност и атмосферу (нарочито њене више слојеве); 3. скептицизам према овом пољу истраживања који постоји код дела научне заједнице; 4. низак степен разумевања односа Сунце – Земља. Са друге стране, Reid (1999) указујући на неопходност мултидисциплинарног истраживања (које би укључило широк спектар научних области, од палеоклиматологије, преко океанологије и метеорологије до физике плазме конвективне зоне Сунца) наводи следеће: „Јасно је да је врсно познавање свих ових области практично немогуће за појединца, али површно разумевање и информисаност о достигнућима у поменутим научним областима му је свакако доступно и може указати на правац даљег напретка у оваквим истраживањима“.

Проблем истраживања обављеног у овом раду би се могао исказати кроз питања: Да ли постоји утицај Сунчеве и вулканске активности на поједине компоненте климатског система и на климу Србије? Који показатељи Сунчеве и вулканске активности имају утицај на поједине компоненте климатског система и на климу Србије?

О комплексности формулисаног проблема јасно сведоче наводи Eschenbach-a (2010), који истиче да је климатски систем незамисливо сложен динамички систем који се састоји од пет замршених, међусобно повезаних и недовољно схваћених подсистема.

Он се додатно усложњава ако се овоме прикључи утицај Соларне радијације, однос између Сунца и геомагнетизма и уопште процеса на Сунцу и његовог утицаја на Земљу. У оквиру сваког од подсистема (али и између самих подсистема) климатског система одвијају се мање или више познати процеси и интеракције које се на просторној скали крећу од молекуларног до планетарног, а на временској од тренутног па до трајања од више милиона година.

С обзиром на то да „истраживач не би требало да се упусти у истраживање, а да претходно не одреди јасно којом је парадигмом вођен његов приступ" (Guba & Linkoln 1994, према Ristić 2011), учињен је покушај парадигматског одређења обављеног истраживања. Rorsch (2010) наводи да је по садашњој дефиницији парадигма скуп научних и метафизичких уверења која чине теоријски оквир у коме се нека научна теорија може тестирати, оценити и уколико је неопходно ревидирати. Према „матрици" онтолошких, епистемолошких и методолошких претпоставки својствених за четири парадигме истраживања (табела 1), а имајући у виду претходно изнете наводе Eschenbach-а, чини се да би истраживање спроведено у овом раду по онтолошким, епистемолошким и методолошким претпоставкама припадало постпозитивистичкој парадигми.

Табела 1. Основна веровања (метафизичка) алтернативних парадигми истраживања (Guba & Linkoln 1994, према Ristić 2011)

Ставка	**Позитивизам**	**Постпозитивизам**	**Критичка теорија и др.**	**Конструктивизам**
Онтологија	Наивни реализам– „стварна“ реалност, али схватљива	Критички реализам– „стварна“ реалност, несавршено и пробабилистички схватљива	Историјски реализам– виртуелна стварност обликована политичким, културалним, економским, етничким и родним вредностима; кристализована током времена	Релативизам –локално и специфично конструисане и коконструисане стварности
Епистемологија	Дуалистичка/ објективистичка; налази истинити	Модификована дуалистичка/ Објективистичка; критичка традиција/заједница; налази вероватно истинити	Трансакционално/ субјективистичка; вредносно посредовани налази	Трансакционално/ субјективистичка; креирани налази
Методологија	Експериментална/ манипулативна; верификација хипотеза; углавном квантитативни методи	Модификована експериментална/ манипулативна; критичка мноштвеност; фалсификација хипотеза; укључивање квалитативних метода	Дијалошко/ дијалектичка	Херменеутичка/ дијалектичка

Интересовање истраживача за однос између промена Сунчеве активности и климе на Земљи је наизменично расло и опадало у току последња два века. Hoyt & Schatten (1997), наводе да је у периоду од 1850–1992. године објављено око 2000 текстова који се тичу односа Сунце – време/клима Земље (уз ограду да се ради о текстовима на енглеском језику), при чему се уочава нагли пораст око 1870. који траје до 80-их година 19. века. Текстови који се баве овом проблематиком скоро у потпуности нестају до краја 90-их година овог века, да би у 20. веку постојао сталан пораст њиховог броја. Са друге стране, Versteegh (2005) наводи да је од (посебно друге половине) 19. века па до двадесетих година 20. века постојао интензиван рад и „стабилан прилив" текстова који су промене температуре ваздуха, количине падавина, ваздушног притиска, или неке посредне показатеље промене климе (ширину годова дрвећа, промене нивоа воде у језерима) приписивале променама у Сунчевој активности. Након тога, до краја шездесетих година, радови са овом тематиком „скоро нестају" из научних часописа, а затим интересовање поново расте, да би „последњих година број текстова који се тичу односа Сунце-Земља експлодирао". Haigh (2007) прецизира да однос између Сунчеве активности и промена климе доспева у жижу научног интересовања почетком деведестих година 20. века. Истраживања која се односе на повезаност Сунчеве активности и промена климе на Земљи имају веома дугу историју. Benestad (2006) наводи да неки од првих налаза потичу из 17. века и односе се на размишљања Галилеја (Galileo Galilei), Шајнера (Christoph Scheiner) и Рикиолија (Giovanni Battista Riccioli) у којима се разматра могућност да између броја Сунчевих пега и (метеоролошког) времена на Земљи постоји веза. Међутим, с обзиром на то да у то доба нису постојала систематична и довољно дуга осматрања ни Сунчеве активности нити климатских елемената на Земљи, могућност ове везе није било могуће проверити.

Значајан тренутак у историји истраживања односа између Сунца и промене климе на Земљи наступа 1801. године када је Вилијем Хершел (William Herschel, 1801a, b) објавио неколико текстова у којима објашњава да смањени број Сунчевих пега узрокује повећање цене жита (користећи податке које је 1776. године изнео Адам Смит у књизи „Богатство нација" - Adam Smith *The Wealth of Nations*).

Иако оваква замисао на први поглед делује неутемељено, Хершел резонује да смањени број Сунчевих пега узрокује мање „светла и топлоте" која доспева до Земље и да клима због тога постаје хладнија, што последично доводи до мањих приноса жита и повећања његове цене.

Рудолф Волф (Rudolf Wolf) 1848. године уводи тзв. Волфов релативни број који представља индекс соларне активности, а 1852. године, реконструишући Сунчеву активност унатраг до 1611. године, потврђује раније налазе Семјуела Швабеа (Samuel Heinrich Schwabe) о њеној цикличној природи, али такође утврђује да у периоду од 1645–1715. године није било Сунчевих пега. Едвард Маундер (Edward Maunder), ослањајући се на радове Густава Шпорера (Gustav Sporer), у текстовима из 1890. и 1894. године детаљно описује ову појаву која је праћена дугим, хладним зимама и кратким, свежим летима у Европи и због тога названа „мини ледено доба“ (Гајић, 2005).

Benestad (2006) дајући преглед „преломних догађаја“ (у периоду од 1610–1991. године) који се тичу односа Сунчеве активности и промена климе на Земљи наводи да је Владимир Кепен (Wladimir Koppen) 1873. године, анализирајући податке са 403 метеоролошке станице, установио да постоји негативна корелација између броја Сунчевих пега и температуре на Земљи, при чему максимум температуре ваздуха у тропским ширинама претходи око годину дана минимуму Сунчевих пега, а у умереним ширинама касни до три године након минимума Сунчевих пега. Такође, Кепен је установио да је ова корелација висока у периоду 1816–1859. година, док у периоду пре и након овога слаби или мења знак.

Јулиус Хан (Julius von Hann) је анализирајући стогодишњи низ осматрања са метеоролошке станице у Бечу, указао да су и летње и зимске температуре ваздуха више током максимума броја Сунчевих пега. У неколико публикација објављених између 1908. и 1915. године, Арктовски (Henryk Arctowski) наводи да, иако су корелације између броја Сунчевих пега и температуре ваздуха на већем делу планете негативне, постоје и регије где су оне позитивне. Он такође разматра и улогу циркулације атмосфере у повезаности између промена Сунчеве активности и температуре ваздуха на Земљи (према Benestad 2006).

Када је реч о повезаности Сунчеве активности и Земљине атмосфере, треба поменути британског метеоролога Чарлса Мелдрума (енг. Charles Meldrum). Овај аутор се у серији текстова написаних између 1872. и 1892. бавио испитивањем цикличности појављивања циклона и падавина и њиховој повезаности са Сунчевим пегама. У текстовима објављеним 1872. године је показао изузетну подударност броја циклона у Индији и броја Сунчевих пега, што је резултовало (већ поменутим) наглим порастом инетересовања за ову тематику и покретањем неколико дугорочних истраживачких програма са циљем што квалитетнијег осматрања промена на Сунцу

(Hoyt & Schatten 1997). Benestad (2005) наводи да су из овог периода посебно значајни и налази из 1878. године Фредерика Чејмберса (енг. Frederick Chambers), који је установио да низак ваздушни притисак прати максимум броја Сунчевих пега. Сличне резултате који указују на негативну корелацију ове две појаве добили су и S. A. Hill (1879) и Blanford (1879, 1880), док је са друге стране E. D. Archibald (1879) добио позитивну корелацију броја Сунчевих пега са ваздушним притиском у Санкт Петербургу. Скоро стотину година након налаза Арктовског, Feynman (2007) поставља у центар својих истраживања питање регионалног „отиска" Сунчеве активности у климатским променама. Он наводи да је досадашња дефиниција климатских промена у смислу одступања средњих температура на глобалном нивоу, сувише уска да би објаснила утицај различитих климатских фактора. Нпр. низак ниво Сунчеве активности резултује захлађењем у северној Европи и Азији, али и позитивним одступањем температуре ваздуха на југозападу Гренланда, северној Африци и Блиском истоку, док на западу Сједињених Америчких Држава нема промена. Такође наводи и да су регионалне промене средње температуре ваздуха знатно израженије него на глобалном нивоу и, (можда) не мање важно, да управо те промене имају највећи утицај на људско друштво.

Веома слични су и наводи De Jager-a (2005). Овај аутор, анализирајући различите појавне облике Сунчеве активности и могуће механизме њиховог утицаја на земљину атмосферу и позивајући се на налазе неколико истраживача, као што су: Coughlin & Tung (2004), Hood (2004), Matthes et al. (2004), Coughlin and Tung (2004), Baldwin & Dunkerton (2005), Langematz et al. (2005), Kodera & Kuroda (2005), наводи да се сигнал Сунчеве активности у променама температуре тропосфере различито манифестује (поједине регије се загревају, док се друге хладе), те стога није реално очекивање да ће студије базиране на само једној кривој која би представљала варијације температуре или притиска на глобалном нивоу дати резултате на овом пољу истраживања. Соларни сигнал је потребно тражити у просторној дистрибуцији (по географској ширини, географској дужини, надморској висини) промена температуре ваздуха (De Jager 2005). Овоме треба додати и истраживање промена које се одвијају по „вертикали", односно у различитим слојевима тропосфере (Ducić et al. 2015), а која би могла да укажу на узроке климатских промена.

Versteegh (2005) наводи: „Да би се идентификовао утицај и механизми утицаја климатских фактора, потребно је испитати различите временско-просторне скале на којима они функционишу. Ако се утицај Сунчеве активности огледа кроз промене притиска у атмосфери, неопходно је истражити регионалне климатске промене, јер на сувише великим просторним скалама (нпр. глобалном нивоу) он може бити подцењен или чак непримећен, док на малим просторним скалама може бити затомњен неким локалним специфичностима." У вези са тим, од кључне је важности исказ Kovaltsova & Usoskina (2007) да је клима на Земљи одређена условима који владају у неком мањем, али кључном региону, који утиче на промене климе у много већим областима или чак и на глобалном нивоу.

У контексту детекције Соларног сигнала на регионалном нивоу, веома је значајан текст Shindell et al. (2001). Анализирајући климатски одговор на Маундеров минимум, ови аутори наводе да и палеоклиматске реконструкције и глобални климатски модели снажно указују да Сунчева активност много више утиче на регионалне, него на хемисферне или глобалне температуре, пре свега кроз позитивну корелацију са АО/НАО (Арктичку и Северноатлантску осцилацију–North Atlantic Oscillation). До сличних резултата, али анализом „годишњег мода северне хемисфере" (Northern Anullar Mode-NAM) је дошао и Ruzmaikin et al. 2004, Ruzmaikin 2007.

Миловановић (2009) наводи да Veretenenko, Dergachev & Dmitriyev (2005) уочавају подударање промена интензитета Сунчеве и геомагнетне активности са променама интензитета притиска у северном Атлантику и да поменути аутори (2005, цитирајући Labitzke & Van Loon 1998) наводе: „Чини се да постоји утицај Сунчеве активности на развој циклона на декадном нивоу".

Статистичка анализа коју је извео Palamara (2003) потврдила је да геомагнетна активност[2], представљена аа индексом (Geomagnetic activity antipodal index), јесте повезана са атмосферском циркулацијом северне хемисфере представљену са АО (Arctic oscillation) и НАО индексом (North Atlantic Oscillation index). Коефицијенти корелације између геомагнетне активности и показатеља атмосферске циркулације су статистички значајни и евидентни су и на декадном и на годишњем нивоу.

[2] Геомагнетна активност је према Clilverd et al. 1998; Cliver, Boriakoff &Bounar 1998; Lockwood, Stamper & Wild 1999. снажно повезана са Сунчевом активношћу

Исти аутор наводи следеће: „С обзиром на статистички значајне корелације између аа индекса (као показатеља геомагнетне активности) и показатеља атмосферске циркулације на годишњем, односно декадном нивоу, може се рећи да је Соларно модификована геомагнетна активност важан спољашњи климатски фактор. Нарочито велики број необјашњених аспеката климе северне хемисфере, укључујући смену климатског режима након шездесетих година 20. века може бити приписан ефектима геомагнетне активности.“ Слични су налази Thejll, Christiansen & Gleisner (2003). Поменути аутори су корелирајући покретне тридесетједногодишње вредности аа индекса и сезонских вредности НАО индекса, указали да статистички значајна веза између зимских вредности НАО индекса и аа индекса постоји од 1970. године.

Један од новијих текстова који потврђује утицај Сунчеве активности на промене температуре (у Европи) кроз модулацију НАО индекса је Lockwood et al. (2010).

Други климатски фактор који је обрађен у овом тексту и који се због свог повременог утицаја, или „епизодног“ карактера може третирати као спољашњи климатски фактор јесте вулканска активност. Forsyth (1988) наводи да је Плутарх у делу „Живот Јулија Цезара“ описао ефекте ерупције Етне 44. године пре нове ере. Поред појаве „три Сунца на небу и хало ефекта“, наводи и да је Сунчева светлост била замућена. Robock (2000) наводи да након овог текста, све до 1784. године када је Бенџамин Френклин указао на могућност да су необично хладно лето 1783. и зима 1783- 1784. године последица ерупције вулкана Лакагигар на Исланду није било других радова на ову тему. Исти аутор истиче да су на пољу истраживања утицаја вулканских ерупција на климу значајни радови: Humphreys (1913, 1940), Mitchell (1961), Lamb (1970), Toon & Pollack (1980), Toon (1982), Ellsaesser (1983), Asaturov et al. (1986), Kondratyev (1988), Robock (1989, 1991), Kondratyev and Galindo (1997), Pollack et al. (1976), Harshvardhan (1979), Hansen et al. (1992), Stenchikov et al. (1998).

Овде треба издвојити радове Lamb-а (1970, 1977). Овај аутор је на основу прозрачности атмосфере, температуре ваздуха и информација о самим вулканским ерупцијама, кроз формирање индекса замућености Земљине атмосфере, тзв. ДВ индекса (Dust Veil index) покушао да оцени количину вулканске прашине која доспева у атмосферу.

Newhall & Self (1982), осврћући се на претходно поменути индекс наводе да „када је реч о формирању ДВ индекса на основу прозрачности атмосфере, нажалост, на овакав начин то може бити учињено за веома мали број ерупција чији се утицај може идентификовати у атмосфери“.

Због тога, ова два аутора одређују читав низ (квантитативних и квалитативних) критеријума на основу којих се формира нови, тзв. индекс вулканске експлозивности – ВЕ индекс (Volcanic Explosivity index). Међутим, Mass & Portman (1989) напомињу да оба поменута индекса имају своје недостатке, који се у погледу ВЕ индекса огледају у непостојању информације о количини избаченог сумпор-диоксида и правцу ерупције (да ли је у питању вертикална или латерална ерупција). Комбинација ова два индекса се често користи за одабир вулканских ерупција чији се (могући) утицај на климу испитује (нпр. Robock & Mao 1995; Briffa et al. 1998). Robock (2000) у веома исцрпном тексту поред историјата истраживања и механизма утицаја вулканске активности на климу, даје преглед и других индекса, односно показатеља вулканске активности који се користе у истраживањима овакве врсте.

У највећем броју текстова утицај вулканских ерупција на климу је испитиван на хемисферном или глобалном нивоу (Robock & Mao 1995; Mann, Bradley & Hughes 1998; Shindell et al. 2003; Stenchikov et al. 2006; Cristiansen 2008). Када је реч о утицају вулканских ерупција на климу Европе потребно је издвојити рад Pisek & Brazdil (2006). Ови аутори су анализирали утицај великих вулканских ерупција (од 19 ерупција са ВЕ индексом > 5 за вулкане у тропским ширинама одабрано седам са највећим уносом аеросола у атмосферу и 9 ерупција са ВЕ индексом > 4 за вулкане на Исланду и у Италији) у току последњих 250 година на температуре ваздуха у централној Европи (Чешка, Словачка, Немачка, Аустрија). На странама 455-456 наводе да ерупције у географски ближим подручјима (Исланд и Италија) имају већи утицај на климу централне Европе него ерупције у тропским ширинама које су јаче по интензитету, али чији је утицај у многим случајевима занемарљив и често затомњен неким локалним или регионалним ефектима. Међутим, Fischer et al. (2007) су користећи податке о температури ваздуха и количини падавина (датим у резолуцији 0.5x0.5°) анализирали утицај 15 великих ерупција вулкана тропских ширина на климу Европе у последњих 500 година и показали да тај утицај постоји.

С обзиром на то да океани играју значајну улогу у климатском систему Земље, од великог броја текстова навешћемо оне репрезентативније који се баве повезаношћу Сунчеве активности и променама температуре Светског океана.

Reid (1991) је анализирајући повезаност покретних једанаестогодишњих вредности броја Сунчевих пега и површинске температуре мора на глобалном нивоу у периоду од 130 година, пронашао статистички значајну корелацију између два низа података. Уз указивање на недостатке и ограничен домет добијених резултата (проблем самог мерења површинске температуре мора и њихово осредњавање на глобалном нивоу), он додаје да резултати ипак указују на Сунчеву активност као значајан (али не и једини) фактор у поменутим варијацијама.

Ворен Вајт (енг. Warren White) са сарадницима се у читавом низу текстова (White, Lean & Cayan 1998; White, Cayan & Dettinger 2003; White 2006; White & Liu 2008) бавио питањем повезаности Сунчеве активности и промена у Светском мору. White et al. (1997) су показали:

1. да се Соларни „отисак“ може очитати у температури океана (до дубине од 80 до 160m, при чему сигнал слаби са порастом дубине).
2. да су регионална одступања температуре океана (могу бити позитивна и негативна) потакнута Соларном радијацијом знатно већа него на глобалном нивоу и да постоји померај у одговору океана од 1 до 2 године.

Tourre et al. (2001) и White & Tourre (2003) су спектралном анализом података о површинској температури Светског океана у периоду 1900–1991, односно 1900–1992. година, пронашли тзв. квазидекадну осцилацију (период од 9–13 година) за коју сугеришу да се поклапа са циклусима Сунчеве радијације. Meehl et al. (2008) су анализирајући површинске температуре Пацифика у односу на године максимума Соларне радијације, утврдили да постоје негативна одступања у екваторијалном делу и позитивна у појасу око Алеутског минимума. Анализирајући податке о Соларној радијацији и температури површине Светског океана у појасу 60°N-60°S у периоду 1854-2007. године Zhou & Tung (2010) су пронашли „робустан сигнал загревања за време максимума Соларне активности и хлађења током минимума Соларне активности“. Слични су налази Camp & Tung (2007) и Tung & Camp (2008).

Повезаност температуре океана и ваздушног притиска се најјасније уочава у ENSO (El Nino Southern Oscillation) феномену. Ипак, с обзиром на то да су за климу Србије значајније промене и повезаност температуре (северног) Атлантског океана и ваздушног притиска изнад овог (дела) океанског басена, овде ће бити дат приказ неких радова у којима је обрађен овај однос.

Greatbatch (2000) наводи да је Јаков Бјеркнес (енг. Jacob Aall Bonnevie Bjerknes) у тексту из 1964. показао да постоји повезаност одступања температуре северног Атлантика и промена ваздушног притиска, при чему на међугодишњем нивоу особине атмосфере у граничном слоју одређују карактеристике одступања површинске температуре океана, док на међудекадном нивоу океанске струје и садржај топлоте у океану утичу на расподелу ваздушног притиска изнад овог океанског басена. Greatbatch такође наводи да су ови налази потврђени резултатима Cayan (1992), Deser & Blackmon (1993), Kushnir (1994), Battisti et al. (1995), Halliwell & Mayer (1996), Halliwell (1997, 1998), Haakkinen (1999), Eden & Jung (2000), Eden & Willebrand (2000).

Czaja & Frankignoul (1999) су, анализирајући месечне вредности одступања површинске температуре Атлантског океана и атмосферског притиска у периоду 1952–1992. године, у појасу 20–60° N, закључили да постоји повезаност НАО индекса са променама летњих површинских температура Атлантског океана источно од Њуфаундленда и у североисточном делу овог океанског басена, при чему одговор НАО индекса „касни“ за променама површинске температуре океана 3–6 месеци. Ови налази су потврђени у Czaja & Frankignoul (2002).

Sutton & Hodson (2003) су анализирајући податке о променама површинске температуре Светског мора и атмосферског притиска показали да у периоду 1871–1999. године постоји статистички значајан „одговор“ НАО индекса на промене површинске температуре северног Атлантика. Sutton & Hodson (2007), анализирајући утицај површинске температуре Атлантског океана на климу „северноатлантског региона“, наводе: „Промене површинске температуре северног Атлантика представљају значајан фактор за атмосферску циркулацију у тропским и умереним ширинама северноатлантског региона. Добијени резултати указују да промене површинске температуре северног Атлантика имају највећи утицај на атмосферски притисак од јуна до августа, и нешто мањи, али такође значајан од септембра до фебруара.“

Msadek & Frankignoul (2009) и Msadek, Frankignoul & Li (2011) су, испитујући повезаност океана и атмосфере, указали да изнад северног Атлантика, у току лета и (у мањој мери) зиме, постоји статистички значајан одговор атмосферског притиска на промене површинске температуре воде у овом океанском басену.

Последњих година је објављен велики број текстова у којима се испитује повезаност атмосферске циркулације и климатских елемената. Када је реч о простору Европе, најчешће је испитиван однос између НАО индекса и температуре ваздуха, односно количине падавина (нпр. Hurrell & van Loon 1997; Slonosky, Jones & Davies 2001; Lockwood et al. 2010; López-Moreno et al. 2011; Wang, Dolman & Alesandri 2011). Када је реч о простору Србије, Tošić & Unkašević (2005) су, на пример, анализирајући месечне, сезонске и годишње падавине у Београду у периоду 1889-2000. година, установиле снажну повезаност зимских количина падавина и НАО индекса, док је Дуцић (1999) установио везу између географске ширине Исландског минимума и количине падавина.

Релативно мали број радова се односи на повезаност циркулације атмосфере представљене Вангенгајм-Гирс типологијом и промена климатских елемената у Европи. Најчешће су испитиване везе између промена типова циркулационих форми представљених овом типологијом и климатских елемената у северној и источној Европи и у поларним ширинама северне хемисфере (Przybylak 2000; Jaagus 2006; Dumanskaya & Fedorenko 2008). Разлог овоме може бити налаз исказан у Sepp & Jaagus (2002) да Вангенгајм-Гирсова типологија показује добре везе са променама температуре у овим деловима Европе, док неке друге класификације циркулације атмосфере као што је Хес-Брезовског (Hess-Brezowsky) боље описују промене климе у централној Европи. Колико нам је познато, до сада је објављен само један рад (Savić et al. 2015) у коме се анализира веза између циркулације атмосфере представљене Вангенгајм-Гирсовом типологијом и промена климатских елемената у Србији.

У складу са претходно наведеним, дефинисан је основни циљ истраживања, а то је испитивање везе између различитих показатеља Сунчеве активности, односно вулканских ерупција и (промена) климатских елемената у Србији (температура ваздуха, количина падавина). С обзиром на то да су овакве везе често „маскиране" прилагођавањем климатског система Земље на промене у количини примљене енергије, неопходно је установити које компоненте (прецизније делови компоненти) климатског система у ствари чине спону између процеса на Сунцу, вулканске активности и промена климата у Србији.

Да би се постигао наведени циљ, неопходно је испунити следеће задатке:

- анализа показатеља Сунчеве активности;
- анализа односа Сунчеве активности и атмосферске циркулације;
- анализа односа Сунчеве активности и температуре (делова) Светског мора;
- анализа односа атмосферске циркулације и климе у Србији;
- анализа односа вулканске активности и климе у Србији;
- анализа климатских елемената у Србији.

Имајући у виду комплексност односа унутар климатског система, али и његове повезаности са варијацијама Сунчеве (и вулканске) активности, као и (потенцијалну) манифестацију тих односа на климу Србије, направљен је одабир истраживачких питања која су постављена у овом раду:

1. Да ли и какве промене постоје у показатељима Сунчеве активности (у току последњих 107–120 година)?
2. Да ли постоји веза између Сунчеве активности и компоненти климатског система?
3. Који показатељи Сунчеве активности имају утицај на поједине компоненте климатског система?
4. Да ли и у којој мери промене у циркулацији атмосфере утичу на колебање климе у Србији?
5. Да ли климатски подаци из Србије садрже „отисак" снажних вулканских ерупција?
6. Какав је просторни аспект колебања климе у Србији?

Методи анализе података

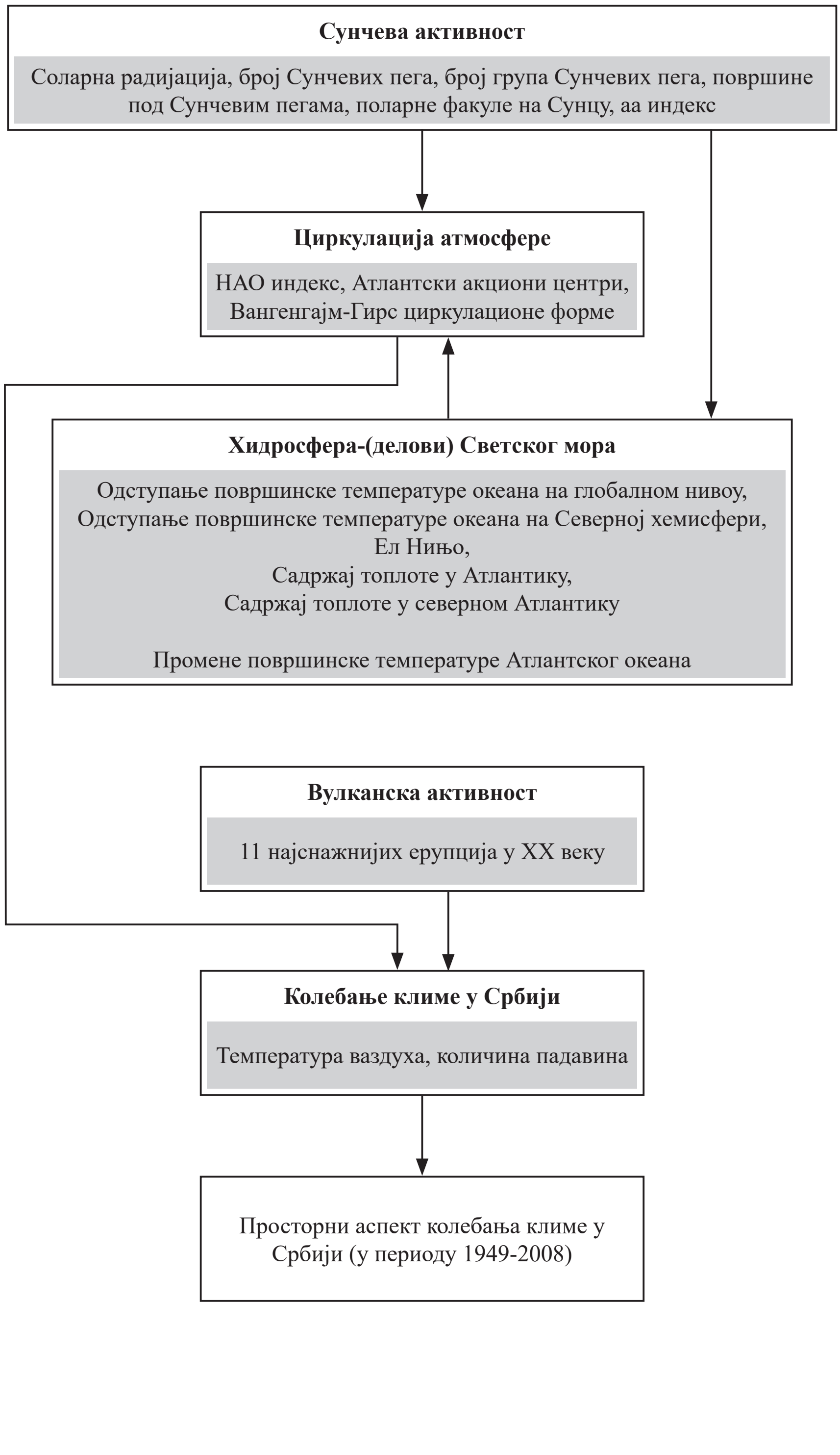
Одабир варијабли које су анализиране у раду извршен је на основу постављених истраживачких питања и хипотеза приказаних у претходном одељку. Једна од хипотеза у овом раду односи се на повезаност атмосферске циркулације и колебања климе (температуре ваздуха и количине падавина) у Србији. С обзиром на то да је важан аспект овог рада управо колебање климе у Србији (на шта упућује и наслов рада), неопходно је (било) прикупити што дуже низове података. Средње месечне вредности поменутих климатских елемената су прикупљене за 23 станице на територији Србије, које покривају период од 1949–2008. године[3]. Са друге стране, због епизодне природе вулканске активности, односно релативно малог броја снажних вулканских ерупција у дужем временском периоду, за детекцију њиховог (могућег) утицаја на климу Србије, коришћени су подаци о средњим месечним вредностима температуре ваздуха са станице Београд у периоду 1888–2008. година.

Као показатељи циркулације атмосфере одабране су или варијабле које се најчешће наводе у литературним изворима као значајне за климу Србије (Атлантски акциони центри, НАО индекс), или оне чија повезаност са колебањима климе у Србији није до сада испитивана (циркулационе форме по Вангенгајм-Гирс типологији), а које највећим делом покривају период за који постоје подаци о температурама ваздуха и количини падавина у Србији. Варијабле којима је представљена Сунчева активност су одабране у односу на дужину низова података који постоје за атмосферску циркулацију и температуру (појединих делова) Светског океана.

Општи схематски приказ емпиријског дела рада и коришћених варијабли дат је на скици 1.

[3] За станицу Призрен постоје подаци за период 1949–2004; за станицу Лозница 1952–2008; за станицу Златибор 1951–2008; за станицу Сомбор 1950–2008. За интерполацију вредности на приказаним картама коришћени су и подаци са станица у окружењу (Арад, Турну Северин, Видин, Враца, Колашин, Пљевља, Осијек).

Скица 1. Схематски приказ емпиријског дела рада и коришћених варијабли.



Постоје велике несугласице о тестирању статистичке значајности. Међу истакнутије присталице напуштања тестирања статистичке значајности спадају: Rozeboom (1960), Carver (1978), Johnson (1999) и други, док се напуштању тестирања статистичке значајности супротстављају: Sawyer & Peter (1983), Cortina & Dunlap (1997), Levin (1998) и други.

У овом истраживању заузето је становиште да се тестирањем статистичке значајности могу добити вредне информације ако се избегне прилично распрострањено погрешно тумачење да се Нојман-Пирсоновом (Neyman-Pearson) теоријом статистичког тестирања хипотеза стиче информација о вероватноћи провераване хипотезе H_0 (неоправдано је поистовећивање вероватноће појаве добијања емпиријског сведочанства е при услову да је истинита проверавана хипотеза H_0 - а управо се таква информација добија применом Нојман-Пирсоновог статистичког тестирања хипотеза - са вероватноћом да је H_0 истинита с обзиром на дато емпиријско сведочанство е). Списак статистичких процедура коришћених у раду дат је у табели 2.

Табела 2. Списак процедура коришћених у раду, сврха у коју су искоришћене и поглавља у којима су примењене

Назив процедуре	**Намена**	**Поглавље**
Графичка инспекција расподела података у варијаблама	Тестирање нормалности расподеле	Сва поглавља
Шапиро-Вилксов тест	Тестирање нормалности расподеле	Сва поглавља
Тест тачака заокрета	Испитивање систематских флуктуација у временским серијама Сунчеве активности	Спољашњи климатски фактори – Сунчева активност
Спектрална анализа – дискретна Фуријеова трансформација података	Испитивање цикличности Сунчеве активности; Испитивање цикличности површинске температуре Светског мора и површинске температуре океана на северној хемисфери	Спољашњи климатски фактори – Сунчева активност; Сунчева активност и хидросфера
Инверзна Фуријеова трансформација података	Дециклирање, односно уклањање из серије циклуса од 9-13 година	Спољашњи климатски фактори – Сунчева активност
Бартелсов и тест разлике рангова	Оцена тренда Сунчеве активности	Спољашњи климатски фактори – Сунчева активност

Сенова оцена нагиба линије тренда	Оцена тренда Сунчеве активности; Оцена тренда температуре ваздуха и количине падавина у Србији	Спољашњи климатски фактори – Сунчева активност; Колебање климе у Србији
Ман-Кендалов тест	Тестирање значајности тренда Сунчеве активности; Тестирање значајности тренда температуре ваздуха и количине падавина у Србији	Спољашњи климатски фактори – Сунчева активност; Колебање климе у Србији
Пирсонова корелација	Корелација између сваког од показатеља Сунчеве активности са сваким од показатеља циркулације атмосфере; Корелација сваког од показатеља Сунчеве активности са температуром Светског мора и површинском температуром океана на северној хемисфери; Испитивање међусобне повезаности показатеља циркулације атмосфере; Повезаност сваког од коришћених показатеља циркулације атмосфере и сваког од климатских елемената у Србији.	Сунчева активност и циркулација атмосфере; Сунчева активност и хидросфера; Промене у циркулацији атмосфере и климе у Србији;
Спирманова корелација рангова	Корелација између сваког од показатеља Сунчеве активности са сваким од показатеља циркулације атмосфере; Корелација сваког од показатеља Сунчеве активности са температуром Светског мора и површинском температуром океана на северној хемисфери	Сунчева активност и циркулација атмосфере; Сунчева активност и хидросфера

Вишеструка линеарна регресија	Повезаност између већег броја показатеља Сунчеве активности и сваког од показатеља циркулације атмосфере; Повезаност између већег броја показатеља Сунчеве активности и температуре Светског мора, односно одступања површинске температуре океана на северној хемисфери; Повезаност већег броја показатеља циркулације атмосфере представљене Вангенгајм-Гирс типологијом и сваког од климатских елемената у Србији	Сунчева активност и циркулација атмосфере; Сунчева активност и хидросфера; Промене у циркулацији атмосфере и климе у Србији
Мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови – МАРС	Повезаност између већег броја показатеља Сунчеве активности и сваког од показатеља циркулације атмосфере; Повезаност између већег броја показатеља Сунчеве активности и температуре Светског мора, односно одступања површинске температуре океана на северној хемисфери	Сунчева активност и циркулација атмосфере; Сунчева активност и хидросфера
Степенаста „риџ“ регресија	„Лечење“ мултиколинеарности предиктора; издвајање најзначајних предиктора – показатеља Сунчеве активности	Сунчева активност и циркулација атмосфере
Триангулација метода	Упоређивање најзначајнијих предиктора у линеарним моделима добијених различитим процедурама	Сунчева активност и циркулација атмосфере; Сунчева активност и хидросфера
Биномни тест	Тестирање значајности појаве заједничких парова показатеља Сунчеве активности	Сунчева активност и циркулација атмосфере

Поинт бисеријална корелација	Корелација сваког од показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња	Сунчева активност и хидросфера
Биномна логистичка регресија	Повезаност већег броја показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња	Сунчева активност и хидросфера
Ојачана „бустована“ стабла	Повезаност већег броја показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња	Сунчева активност и хидросфера
Неуронске мреже	Повезаност већег броја показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња	Сунчева активност и хидросфера
Бајесова класификација	Повезаност већег броја показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња	Сунчева активност и хидросфера
Потпорни вектори	Повезаност већег броја показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња	Сунчева активност и хидросфера
Дискриминациона анализа	Повезаност већег броја показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња	Сунчева активност и хидросфера
Дизајн суперпонираних епоха – Вилкоксонов тест	Детекција утицаја Ел Ниња на температуре Светског мора и одступања површинске температуре океана на северној хемисфери	Сунчева активност и хидросфера
Нелинеарна (биномна) вишеструка регресија	Повезаност већег броја показатеља Сунчеве активности и температуре Светског мора, односно одступања површинске температуре океана на северној хемисфери	Сунчева активност и хидросфера
Степенаста „риџ“ регресија	„Лечење“ мултиколинеарности предиктора; издвајање најзначајних предиктора – показатеља Сунчеве активности	Сунчева активност и хидросфера
Хијерархијска (joining tree) кластерска анализа	Издвајање засебних климатских целина у Србији	Колебање климе у Србији

Скидање тренда – детрендизација података	Елиминисање утицаја урбаног острва топлоте и других климатских фактора на временску серију података о температури ваздуха у Београду	Вулканска активност и промене температуре ваздуха у Београду
Дизајн суперпонираних епоха – Анализа варијансе, post hoc Фишеров ЛСД тест, Левенеов тест за једнакост варијанси	Детекција вулканског сигнала у температурама ваздуха у Београду	Вулканска активност и промене температуре ваздуха у Београду
Анализа варијансе, post hoc Фишеров ЛСД тест, Левенеов тест за једнакост варијанси	Детекција утицаја циркулације атмосфере представљене Вангенгајм-Гирс типологијом на температуре ваздуха у Србији	Промене у циркулацији атмосфере и климе у Србији
Рускал-Волисова анализа варијансе, Левенеов тест за једнакост варијанси, тест квадрираних рангова	Детекција утицаја циркулације атмосфере представљене Вангенгајм-Гирс типологијом на количине падавина у Србији	Промене у циркулацији атмосфере и климе у Србији
Постепена „stepwise“ линеарна регресија (детекција варијабли супресора и медијатора)	Повезаност већег броја елемената Атлантских акционих центара и сваког од климатских елемената у Србији	Промене у циркулацији атмосфере и климе у Србији
Александерсонов тест хомогености података (Standard Normal Homogeneity Test)	Испитивање хомогености низова са станица у Србији и њихова хомогенизација	Колебање климе у Србији
Редукција података на исти период	Попуњавање недостајућих вредности у низовима са станица у Србији	Колебање климе у Србији

При изради карата за просторне интерполације коришћен је програм Surfer 7. За дигитализацију основе карте (листови Београд и Скопље Међународне карте размера 1:1 000 000) искоришћен је MicroStation SE. За статистичке обраде података искоришћени су статистички пакети Statsoft/Statistica 6.0; Statsoft/Statistica 7.0; Statistical Package for the Social Sciences - SPSS 14.0; за спектралну анализу података програм посебно написан у Scilab-у 5.2.1 (аутор Драгољуб Штрбац, 2009, Географски институт „Јован Цвијић“, САНУ); за анализу хомогености података програм AnClim (аутор Štěpánek, P. 2005, AnClim - software for time series analysis. Dept. of Geography, Fac.of Natural Sciences, MU, Brno).

Спољашњи климатски фактори – Сунчева активност

У овом одељку текста покушали смо да одговоримо на питање: Да ли и какве промене постоје у показатељима Сунчеве активности (у току последњих 107–120 година)?

Под Сунчевом активношћу Гајић (2005) подразумева „променљивост“ Сунца која се испољава кроз целокупност бројних нестационарних процеса на њему и у његовој атмосфери. У такве процесе спадају настанак и ишчезавање Сунчевих пега, флокула, факула, протуберанци, затим ерупције и експлозије, пораст ултраљубичастог, рендгенског и радио зрачења, итд.

У раду су коришћени подаци који се односе на Соларну радијацију, поларне факуле на Сунцу, као и подаци о броју Сунчевих пега, њиховим површинама, броју група Сунчевих пега који се (због дужине низова) често користе за реконструкцију Соларне радијације. Овоме треба додати и податке о индексу геомагнетне активности који се према Lockwood & Stamper (1999) такође могу користити за реконструкцију Соларне радијације. Неки други показатељи Сунчеве активности (параметри Сунчевог ветра, Соларни флукс) које су користили нпр. Vyklyuk et al. (2016); Radovanovic et al. (2013); Milenković, Ducić & Milovanović (2010) у испитивањима повезаности између процеса на Сунцу и Земљи, нису уврштени у овај рад због исувише кратког низа осматрања.

Као што је поменуто, дужина низова података, односно услов да „покривају“ читав 20. век (или барем његов највећи део) био је један од критеријума за одабир варијабли којима је представљена Сунчева активност. Овај услов је одабран јер циљ, односно један од циљева рада јесте детекција (посредне) везе Сунчеве активности са колебањем климе у Србији, што подразумева анализу најмање једног тридесетогодишњег периода. Са друге стране, ако се зна да су систематска мерења климатских елемената у Србији започета 1887/1888. године (ако се изузму мерења вршена од 1848. године од стране Владимира Јакшића, а која нису узета у обзир због другачије методологије мерења и недоступности података), ова година је, где је то било могуће, коришћена као почетна. У табели 3 су дате основне информације о поменутим показатељима Сунчеве активности.

Табела 3. Основне информације о показатељима Сунчеве активностикоришћеним у овом раду

Назив	**Дефиниција**	**Референца**	**Период за који располажемо подацима/ анализирани период**	**Извор са кога су преузети подаци**
Број Сунчевих пега	Број тамнијих подручја фотосфере која представљају манифестацију јаких локалних магнетних поља.	Гајић Д. (2005)	1888-2008. 1889-2008.	ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/ SOLAR
Број група Сунчевих пега	Број појава Сунчевих пега које су груписане	Benestad, E. R. (2006)	1888-1995. 1889-1995.	ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/ SOLAR
Површине под Сунчевим пегама	Површина Сунчевих пега изражена у милионитим деловима видљиве хемисфере Сунца	Benestad, E. R. (2006)	1888-2005. 1889-1996.	http://www.gao.spb.ru/ database/esai/
Поларне факуле Сунца	Светлије регије фотосфере у поларним ширинама Сунца	Makarov V.I, Makarova V.V. (1996)	1888-1999. 1893-1999.	http://www.gao.spb.ru/ database/esai/
Соларна радијација	Енергија израчена са Сунца која на висини од 65 km изнад Земљине површине има вредност од 1367±2 W/m^2	Гајић Д. (2005)	1888-2000. 1889-1996.	Lean, J. 2004. Solar Irradiance Reconstruction. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2004-035.NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
Индекс геомагнетне активности (аа индекс)	Мера геомагнетног поља Земље (изражена у нанотеслама - nT) добијена са две антиподалне геомагнетне станице (лоциране у Енглеској и Аустралији)	Cliver, Boriakoff & Feynman (1998)	1888-2009. 1889-2008.	ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/ SOLAR/ RELATED_INDICES

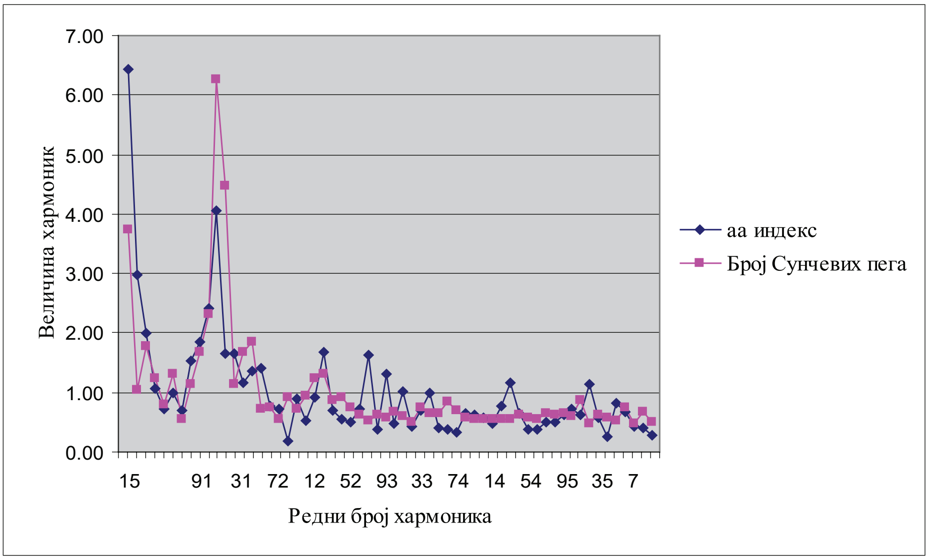
С обзиром на то да је основна хипотеза у раду повезаност Сунчеве активности и (компоненти) климатског система Земље, покушало се са њеним оцењивањем у последњих десет, односно једанаест Сунчевих циклуса (од првог до последњег минимума у посматраној серији, односно од 1889–1996 и 1889–2008 године[4]). Да би се утврдило да ли у посматраним серијама постоје одређене систематске флуктуације, примењен је тест тачака заокрета (табела 4).

Табела 4. Резултати примене теста тачака заокрета за коришћене показатеље Сунчеве активности (критична вредност ±1,96)

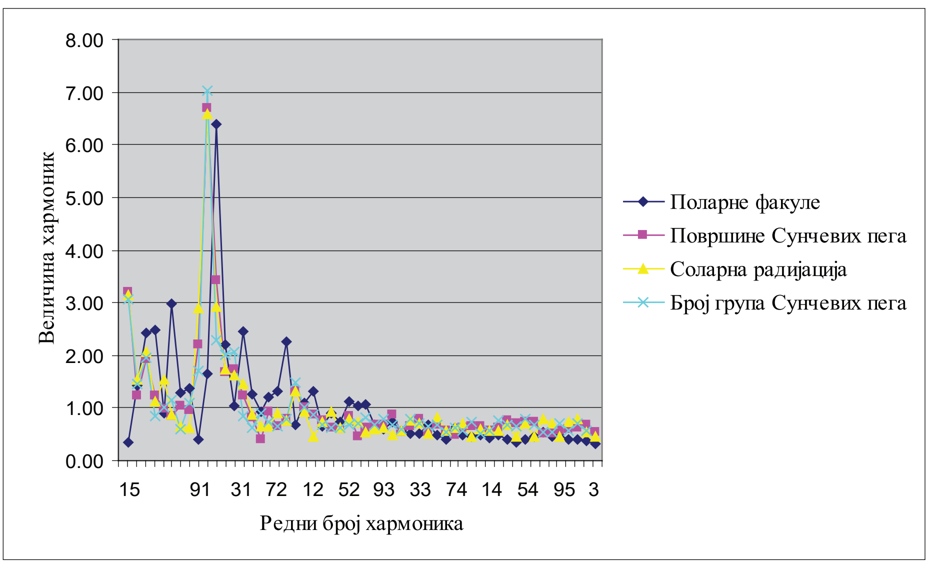
	аа индекс	**Поларне факуле**	**Сунчеве пеге**	**Соларна радијација**	**Површине под Сунчевим пегама**	**Број група Сунчевих пега**
Вредност тест статистика	-4.51	-9.48	-11.71	-10.97	-9.59	-10.41

На основу података из табеле 4 се може закључити да у посматраним серијама постоје одређене систематске флуктуације (може се одбацити претпоставка о случајности). На графиконима од 3 до 8 лако се могу уочити цикличне варијације, односно „једанаестогодишњи“ Швабеови (Samuel Heinrich Schwabe) циклуси који према Гајићу (2005) могу варирати од 9–13,6 година. То је показала и спектрална анализа показатеља Сунчеве активности (графикони 1 и 2[5]).

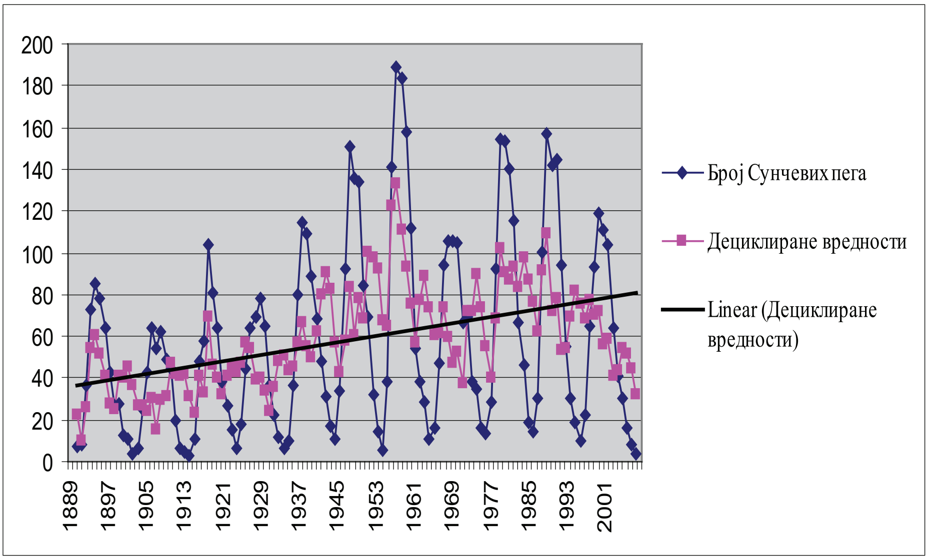
[4] Изузетак представљају поларне факуле код којих је минимум најближи 1889. години забележен 1893, а последњи у овој серији 1999. године и број група Сунчевих пега за која смо располагали подацима до 1995. године.
[5] Величине хармоника су због веће прегледности приказане на два графикона. Дужина циклуса се може одредити ако се број чланова у серији подели са редним бројем хармоника.



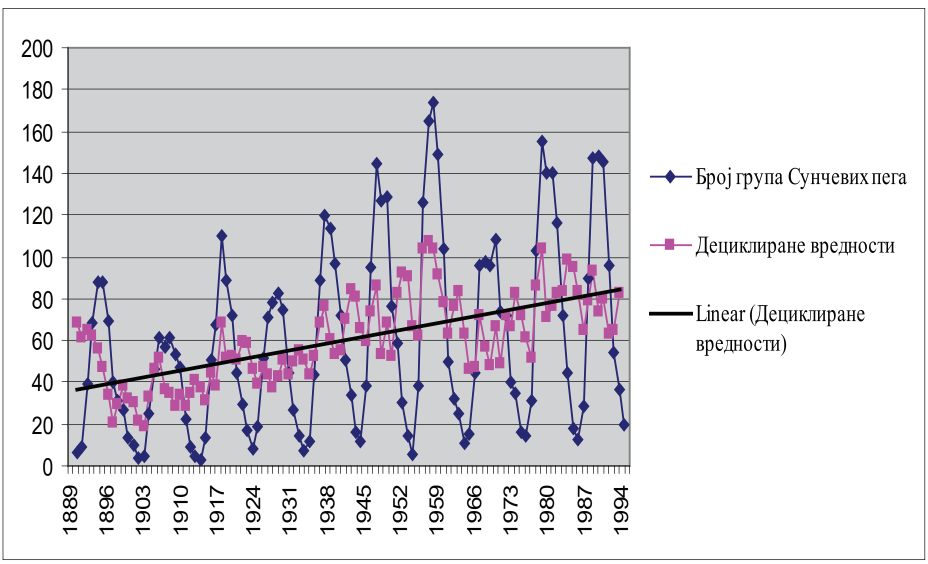
Графикон 1. Величине хармоника за аа индекс и број Сунчевих пега добијене дискретном Фуријеовом трансформацијом података



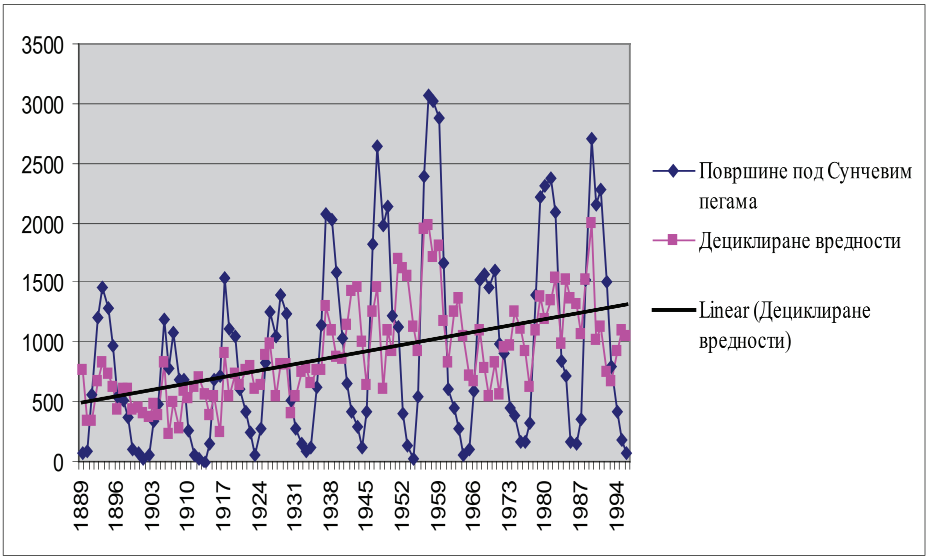
Графикон 2. Величине хармоника за поларне факуле на Сунцу, површине под Сунчевим пегама, Соларну радијацију и број група Сунчевих пега добијене дискретном Фуријеовом трансформацијом података



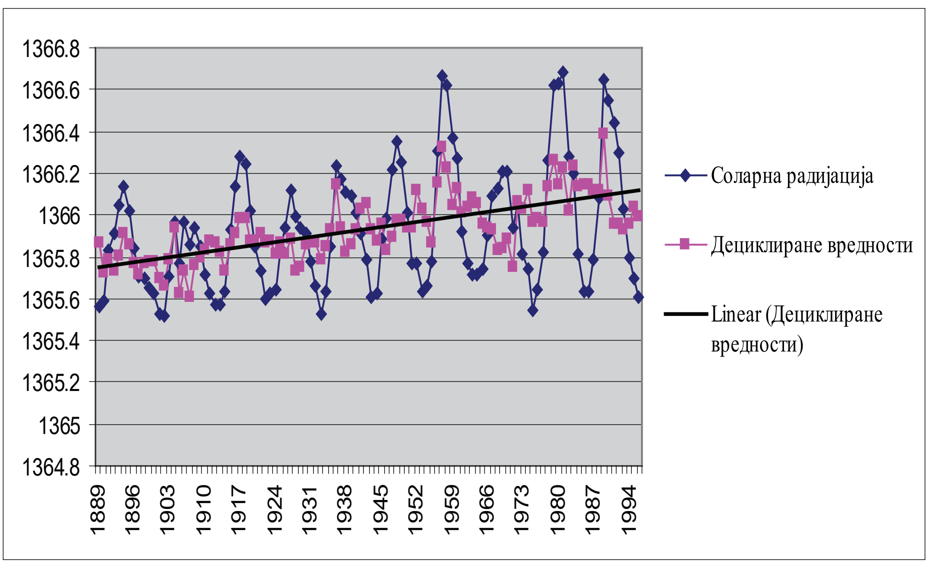
Графикон 3. Број Сунчевих пега, дециклиране вредности и њихов тренд у периоду 1889–2008. година



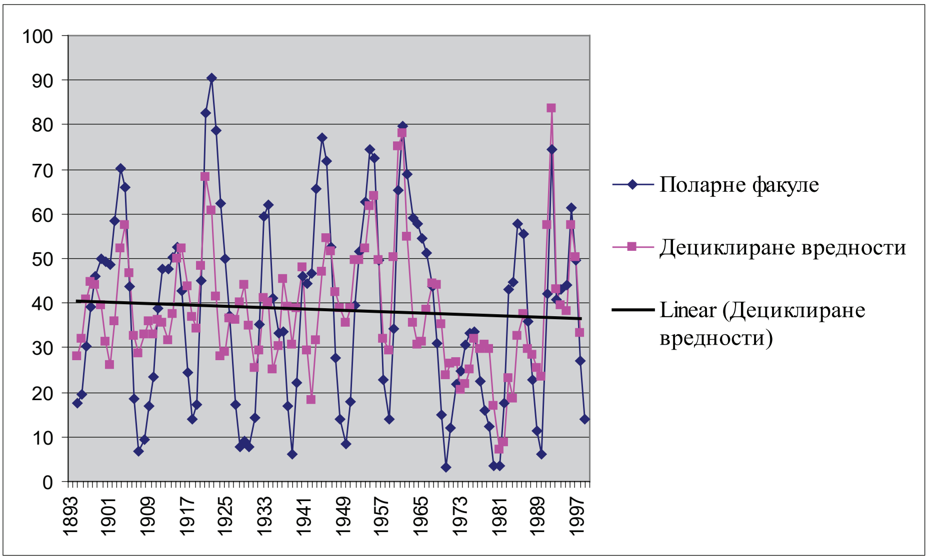
Графикон 4. Број група Сунчевих пега, дециклиране вредности и њихов тренд у периоду 1889–1995. година



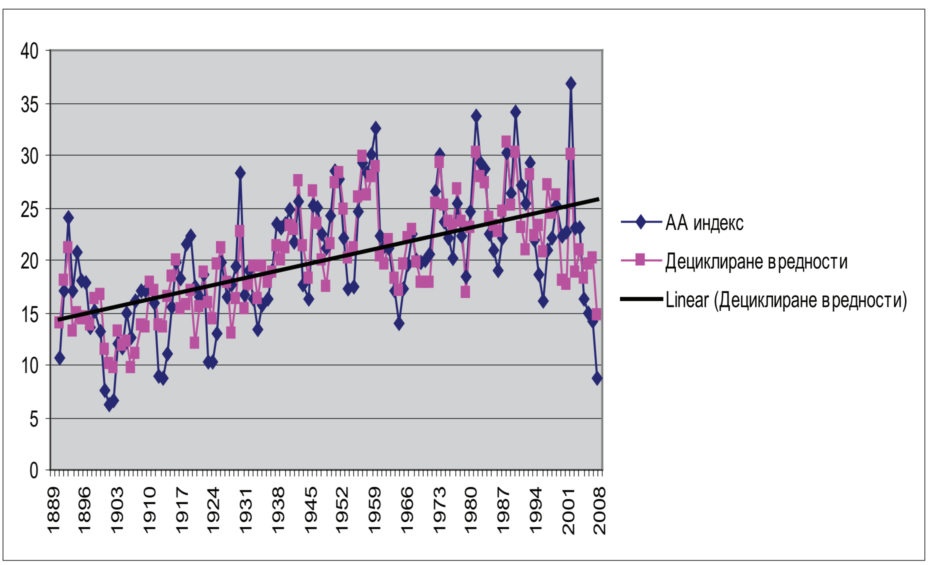
Графикон 5. Површине под Сунчевим пегама, дециклиране вредности и њихов тренд у периоду 1889–1996. година



Графикон 6. Соларна радијација, дециклиране вредности и њихов тренд у периоду 1889–1996. година



Графикон 7. Број поларних факула, децикliране вредности и њихов тренд у периоду 1893–1999. година



Графикон 8. Вредности аа индекса, децикliране вредности и њихов тренд у периоду 1889–2008. година

Као што је већ речено, основни задатак у овом поглављу јесте оцењивање тренда, односно утврђивање „једне детерминистичке, систематске компоненте, којом се изражава дугорочна тенденција развоја серије“ (Малишић, 2002). Овај аутор наводи да се сваки члан временске серије

$$X_1, X_2, X_3, ..., X_n$$

може приказати у облику

$$X_t = f_t + s_t + c_t + \varepsilon_t, t = 1,2,...,n$$

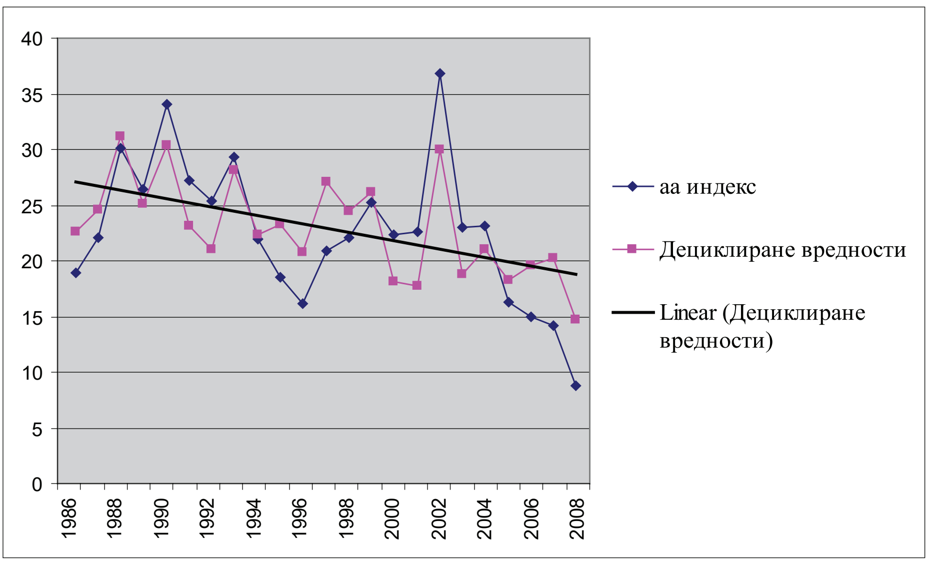
где је f_t - тренд, s_t - сезонска компонента, c_t - циклична компонента, ε_t - случајна компонента, при чему, наравно, не мора свака временска серија да има све поменуте компоненте.

С обзиром на то да код посматраних показатеља Сунчеве активности не постоји сезонска компонента у серији, да би се оценио тренд било је неопходно уклонити цикличну компоненту. То је учињено у поступку инверзне Фуријеове трансформације података, при чему је хармоницима, односно амплитудама хармоника који се односе на већ поменуте циклусе од 9 до 13,6 година додељена вредност нула (графикони од 3 до 8). На овако добијеним серијама, за оцењивање тренда су искоришћени Бартелсов тест и тест разлике рангова (табела 5).

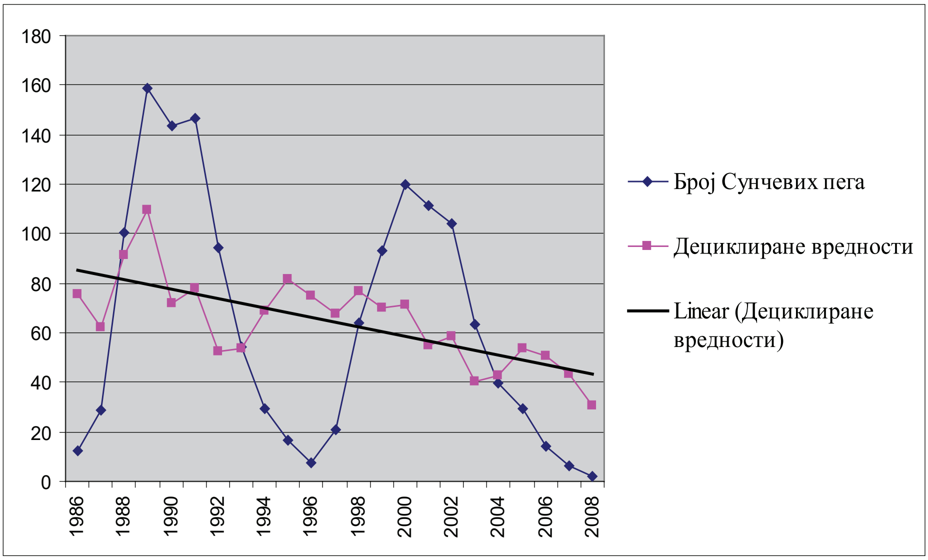
Табела 5. Тестирање случајности дециклираних вредности показатеља Сунчеве активности (критична вредност за све тестове ±1,96)

	Број Сунчевих пега	**Број група Сунчевих пега**	**Површине под Сунчевим пегама**	**Поларне факуле Сунца**	**Соларна радијација**	**Индекс геомагнетне активности (аа индекс)**
Бартелсов тест	-8,87	-8,17	-7,09	-6,70	-8,08	-7,87
Тест разлике рангова	-10,06	-9,14	-7,57	-7,37	-9,19	-8,50

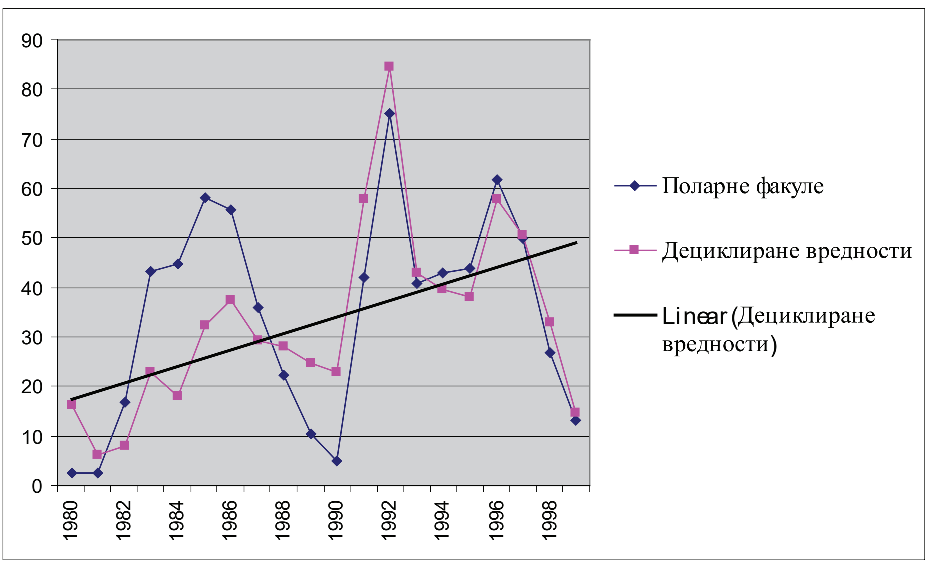
На основу резултата из табеле 5 и графикона 3–8 може се закључити да је код скоро свих коришћених показатеља Сунчеве активности присутан позитиван и статистички значајан тренд (p=0,05). Изузетак представља број поларних факула на Сунцу, код којих је присутан негативан тренд, који је на основу резултата примењених тестова статистички значајан на нивоу p=0,05. Међутим, на графиконима од 9 до 11 и у табели 6, може се уочити да је у току последња два циклуса код аа индекса и броја Сунчевих пега дошло до (статистички значајног на p=0,01) силазног тренда, док је код поларних факула у периоду 1980–1999. година дошло до повећања активности (такође статистички значајног на p=0,01).



Графикон 9. Вредности аа индекса, дециклиране вредности и њихов тренд у периоду 1986–2008. година



Графикон 10. Број Сунчевих пега, дециклиране вредности и њихов тренд у периоду 1986–2008. година



Графикон 11. Број поларних факула, дециклиране вредности и њихов тренд у периоду 1980–1999. година

Табела 6. Резултати Ман-Кендаловог теста и Сенове оцене нагиба линије тренда аа индекса, броја Сунчевих пега и Поларних факула

Показатељ Сунчеве активности	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност[6]**	**Нагиб тренда**
аа индекс	1986–2008	-2.75	**	-0.370
Број Сунчевих пега	1986–2008	-3.43	**	-1.900
Поларне факуле	1980–1999	2.93	**	1.546

Ови резултати су у сагласности са налазима Solanki & Fligge (1998) који су, анализирајући Соларну радијацију од Маундеровог минимума до краја 22. циклуса (од 1645–1996. године) показали да њен пораст у том периоду износи 4 W/m^2, а у периоду 1874–1996. година око 2,5 W/m^2 и са налазима Lockwood & Fröhlich (2007) који наводе да је у току 20. века код показатеља Сунчеве активности дошло до значајних промена (пораста од 1890–1985. године и пада након тога).

[6] Статистички значајно на нивоу поверења од 99% (ознака **)

Сунчева активност и циркулација атмосфере

У овом и наредном одељку текста покушали смо да одговоримо на питања: Да ли постоји веза између Сунчеве активности и компоненти климатског система? Који показатељи Сунчеве активности имају утицај на поједине компоненте климатског система?

Циљ овог дела рада ће бити провера хипотезе о утицају, или прецизније говорећи, о повезаности Сунчеве активности као спољашњег климатског фактора и циркулације атмосфере. Имајући у виду ограничење које наводи Ристић (2006) да истинитост предвиђања дедукованог из хипотезе може истовремено да потврђује мноштво супарничких хипотеза, акценат неће бити стављен на различите теоријске поставке и механизме, већ (поред осталог) и на неке методолошке аспекте у истраживању поменутог односа.

Као први корак у провери хипотезе о повезаности Сунчеве активности и циркулације атмосфере, извршена је корелациона анализа између поменутих показатеља Сунчеве активности и показатеља циркулације атмосфере (НАО индекс, Атлантски акциони центри, Вангенгајм-Гирс циркулационе форме). Коришћене су месечне, сезонске, годишње и декадне вредности. Иако циљ целокупног рада, па ни овог поглавља, није откривање и објашњавање механизма односа између спољашњих климатских фактора, односно Сунчеве активности и климатског система, овакав приступ би могао да укаже на то који је од предложених, односно могућих механизама који се сусрећу у литератури вероватан, или вероватнији од других. Palamara (2003) наводи следеће: „Да би се што свеобухватније приступило истраживању (и на тај начин јасније дефинисао простор у коме је потребно трагати за механизмима односа) потребно је извршити анализирање података на различитим временско-просторним скалама (глобално-регионална, декадна, годишња, сезонска итд.)“.

Међутим, постоји реалан проблем са оваквим приступом. Наиме, за велики број параметара Сунчеве активности нисмо располагали месечним (а следствено томе) ни сезонским вредностима. Такви подаци су пронађени само за аа индекс и број Сунчевих пега. Када се посматра однос поменутих параметара Сунчеве активности и показатеља циркулације атмосфере на овом нивоу, корелације само у појединим случајевима показују статистичку значајност. Међутим, и тада се корелације крећу у класи „слабих“ – $r \approx 0,3$; односно $Rho \leq 0,3$ (White & Korotayev 2004).

Слични резултати се добијају и на годишњем нивоу. Такође постоје статистички значајне корелације између појединих параметара Сунчеве активности и показатеља атмосферске циркулације, али је њихов практички значај мали или занемарљив, те стога овде неће ни бити приказани резултати (нпр. аа индекс/ λ Азорског максимума r=0,274; Соларна радијација/λ Исландског минимума Rho=0,265).

Да би се избегле међугодишње варијације климе подаци су „углачани“ на покретне декадне вредности Међутим, оваквим поступком су нарушене дистрибуције појединих варијабли што је условило примену алтернативних, непараметарских процедура (коришћена Спирманова корелација рангов – табела 7).

Прелиминарна матрица корелација је обухватала знатно већи број показатеља циркулације атмосфере (АО индекс, Хес-Брезовски типологију и форме изведене из ове класификације, итд.). Ипак, у табели 7 су приказане само вредности корелације које се према White & Korotayev (2004) крећу у класи „јаких - rho = 0,5-0,7“ или „веома јаких - rho = 0,7-0,9“. Може се уочити да су највише корелације показатеља Сунчеве активности и различитих форми циркулације атмосфере (WEC) по Вангенгајм-Гирс типологији и атлантских акционих центара, односно појединих компоненти ових центара. Иако у неким случајевима индекс Медитеранске осцилације показује јаку повезаност са одређеним показатељима, треба имати у виду да је број случајева код ове варијабле 49, док се код атлантских акционих центара и WEC форми број случајева креће од 97 до 104.

Табела 7. Коефицијенти корелације између показатеља Сунчеве активности и показатеља циркулације атмосфере[7] на покретном декадном нивоу

Показатељи Сунчеве активности	**Показатељи атмосферске циркулације**							
аа индекс	W	E	ГДИМ	ГДАМ	ГШАМ	ИАМ		
	-0,655	0,682	0,674	0,854	0,773	-0,571		
Поларне факуле	C							
	0,571							
Број Сунчевих пега	ИМО[8]	НАО индекс	W	E	ГДИМ	ГДАМ	ГШАМ	ИАМ
	0,540	-0,511	-0,694	0,660	0,726	0,811	0,722	-0,619
Број група Сунчевих пега	ИМО	НАО индекс	W	E	ГДИМ	ГДАМ	ГШАМ	ИАМ
	0,566	-0,507	-0,692	0,682	0,681	0,818	0,712	-0,569
Површине Сунчевих пега	ИМО	НАО индекс	W	E	ГДИМ	ГДАМ	ГШАМ	ИАМ
	0,522	-0,518	-0,651	0,614	0,695	0,805	0,699	-0,599
Соларна радијација	ИМО	W	E	ГДИМ	ГДАМ	ГШАМ	ИАМ	
	0,656	-0,712	0,727	0,673	0,856	0,756	-0,541	

Миловановић (2009) наводи да у свом „прегледу" односа Сунце–клима Friis-Christensen & Svensmark (1997) сугеришу да поред непостојања неспорног физичког механизма који би га објаснио, значајан недостатак у овом пољу истраживања представља одсуство идентификације Сунчевих параметара који „управљају" овом везом. Стога смо покушали да утврдимо у којој мери и који су то параметри Сунчеве активности (или њихова комбинација) повезани са променама атмосферске циркулације. Из овога је изведен и додатни захтев, а то је, да се применом алтернативних процедура провери ваљаност налаза добијених сваком од процедура и стекне информација о релативном односу добијених резултата.

[7] Све приказане вредности показују статистичку значајност на нивоу поверења од 99%
[8] Према Palutikof et al. (1996) Индекс Медитеранске осцилације представља нормализовану разлику ваздушног притиска између Алжира (36.4°N, 3.1°E) и Каира (30.1°N, 31.4°E)

Табела 8. Матрица корелација показатеља Сунчеве активности (108<n<119 за годишње вредности; 98<n<109 за покретне декадне (према Миловановић, 2009)

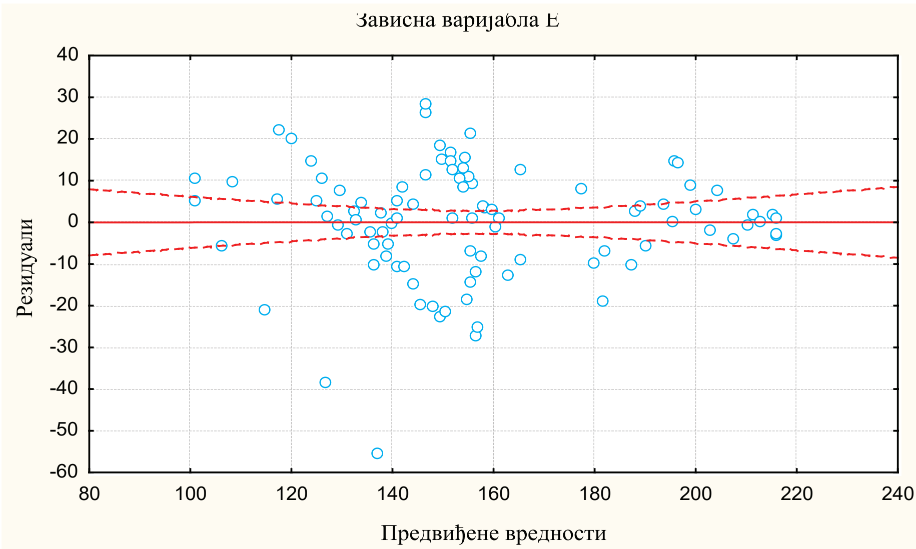
Годишње вредности						
	аа индекс	Поларне факуле	Број Сунчевих пега	Број група Сунчевих пега	Површине Сунчевих пега	Соларна радијација
аа индекс	1	-0,259	0,589	0,576	0,574	0,550
Поларне факуле	-0,259	1	-0,657	-0,672	-0,659	-0,653
Број Сунчевих пега	0,589	-0,657	1	0,995	0,989	0,958
Број група Сунчевих пега	0,576	-0,672	0,995	1	0,990	0,967
Површине Сунчевих пега	0,574	-0,659	0,989	0,990	1	0,936
Соларна радијација	0,550	-0,653	0,958	0,967	0,936	1
Покретне декадне вредности						
	аа индекс	Поларне факуле[9]	Број Сунчевих пега	Број група Сунчевих пега	Површине Сунчевих пега	Соларна радијација
аа индекс	1	-0,071	0,938	0,962	0,937	0,947
Поларне факуле	-0,071	1	,079	,035	,071	-,046
Број Сунчевих пега	0,938	0,079	1	0,990	0,979	0,957
Број група Сунчевих пега	0,962	0,035	0,990	1	0,980	0,968
Површине Сунчевих пега	0,937	0,071	0,979	0,980	1	0,921
Соларна радијација	0,947	-0,046	0,957	0,968	0,921	1

[9] Осим поларних факула за покретне декадне вредности, сви приказани коефицијенти су сигнификантни на $\alpha \leq 0,01$

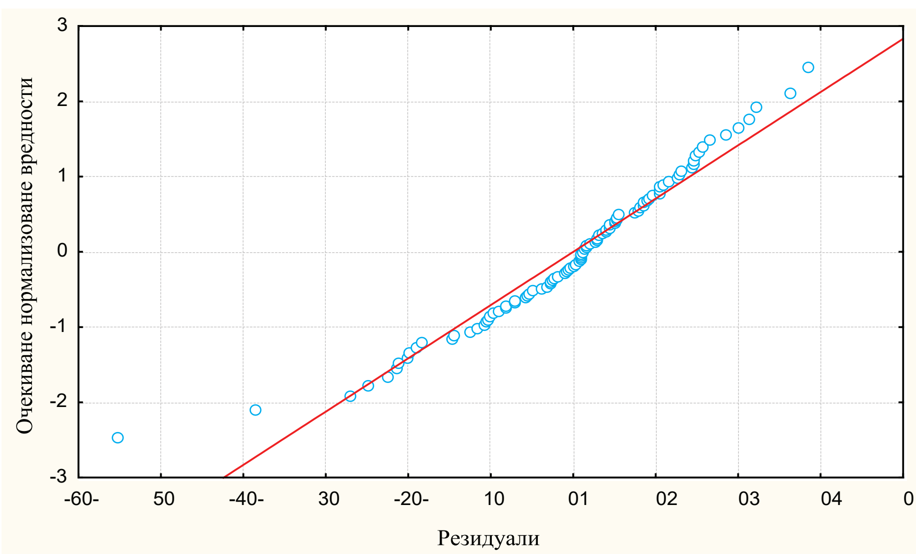
Важно је напоменути да је толеранција показатеља Сунчеве активности веома ниска (висока мултиколинеарност – табела 8). Међутим, примарно питање на које смо покушали да пружимо одговор односи се на повезаност између Сунчеве активности и показатеља циркулације атмосфере и због тога у овој фази рада није обраћана посебна пажња на редундансу предиктора. Cohen et al. (2003) наводе следеће: „Када је циљ само предвиђање критеријумске варијабле Y или откривање њеног коефицијента детерминације, мултиколинеарност нема много значаја и нису потребни поступци за њено одстрањење“.

У анализи података је коришћено неколико поступака вишеструке регресије (вишеструка линеарна регресија, „гребенаста“ или риџ регресија и једна од процедура из оквира рударења података (Data Mining) – мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови – МАРС техника), при чему је прво у линеарној вишеструкој регресији тражена комбинација која укључује мањи број предиктора, а задржава висок и стабилан коефицијент детерминације (однос R^2 и прилагођеног R^2), а затим су на истоветној комбинацији примењени и алтернативни поступци. (У примени линеарне вишеструке регресије линеарност односа и нормална дистрибуција резидуала су испитани и приказани на графиконима 12 и 13[10]. У табели 9 су приказани резултати добијени поменутим процедурама.

[10] Због оптерећења текста није било могуће приказати графиконе анализе резидуала за све зависне варијабле



Графикон 12. Типичан однос предвиђених вредности и резидуала (критеријумска варијабла источна (Е) циркулациона форма по Вангенгајм-Гирс типологији)



Графикон 13. Типичан распоред резидуала (критеријумска варијабла источна (Е) циркулациона форма по Вангенгајм-Гирс типологији)

Табела 9. Основни резултати примене линеарне вишеструке регресије и мултиваријантних адаптивних регресионих сплинова (МАРС) на критеријумске варијабле атмосфере

Назив критеријумске варијабле	**Назив процедуре**				
	Број предиктора; број случајева	**Вишеструка линеарна регресија**		**Мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови (МАРС)**	
W (зонално струјање)	5; 95	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=90,08; p=0,000	Прилагођено R^2=0,825	/	Прилагођено R^2=0,961
E (нарушено зонално струјање)	4; 95	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=101,04 p=0,000	Прилагођено R^2=0,809	/	Прилагођено R^2=0,883
C (меридионално струјање)	4; 99	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=33,85 p=0,000	Прилагођено R^2=0,572	/	Прилагођено R^2=0,770
Интензитет Азорског максимума	4; 97	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=22,63 p=0,000	Прилагођено R^2=0,474	/	Прилагођено R^2=0,613
λ Азорског максимума	5; 97	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=91,64 p=0,000	Прилагођено R^2=0,825	/	Прилагођено R^2=0,944
φ Азорског максимума	4; 97	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=67,02 p=0,000	Прилагођено R^2=0,733	/	Прилагођено R^2=0,895
Интензитет Исландског минимума	6; 96	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=30,34 p=0,000	Прилагођено R^2=0,649	/	Прилагођено R^2=0,914
λ Исландског минимума	4; 97	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=79,28 p=0,000	Прилагођено R^2=0,765	/	Прилагођено R^2=0,881
φ Исландског минимума	3; 97	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=10,59 p=0,000	Прилагођено R^2=0,230	/	Прилагођено R^2=0,676
НАО индекс	4; 86	Значајност модела	Захваћеност варијансе	Значајност модела	Захваћеност варијансе
		F=30,79 p=0,000	Прилагођено R^2=0,583	/	Прилагођено R^2=0,906

Резултати из табеле 9, који се односе на Вангенгајм-Гирс циркулационе форме, описани су у Миловановић (2009). Исти аутор цитира Girs & Kondratovich (1978) који указују да са порастом броја Сунчевих пега расте и учестаност меридионалног типа циркулације, а са опадањем Сунчеве активности, расте фреквенција зоналног типа, док Гирс (1960) анализирајући узроке промена атмосферске циркулације (у оквиру Вангенгајм-Гирс типологије) наводи следеће: „Са сменом епоха атмосферске циркулације долази до суштинских промена у клими северне хемисфере и низа карактеристика хидросфере. Објашњење настанка различитих циркулационих епоха је неопходно тражити у узајамном дејству унутрашњих и спољашњих климатских фактора. Када се говори о спољашњим климатским факторима, ту пре свега треба указати на Сунчеву активност која је дефинисана укупношћу физичких процеса на Сунцу, који су представљени Сунчевим пегама, гранулама, факулама, протуберанцама, као и коронарним формама“. Исти аутор наводи да при порасту Волфовог броја (у току 80-90 годишњег циклуса) долази до развоја Е и С форми, док коефицијент корелације са W типом износи минус 0,82, али упозорава да с обзиром на сложеност климатског система, слагање кривих Сунчеве активности и различитих типова циркулације не треба схватати као непосредну и пуну зависност циркулације атмосфере од Сунчеве активности.

У складу са тим, могли би се очекивати другачији резултати ако би се у истраживање укључили и неки елементи хидросфере (нпр. температура воде појединих океанских басена). Ипак, с обзиром на то да се основно питање у овом поглављу односи на повезаност између Сунчеве активности и циркулације атмосфере, ово није учињено, већ је међузависност свих осталих компоненти климатског система „изолована“ већ поменутим уравнавањем података.

Када је реч о положају Атлантских акционих центара, најмањи проценат варијансе је захваћен када се посматра географска ширина Исландског минимума (прилагођено R^2 у вишеструкој линеарној регресији износи 0,230, а у МАРС техници је R^2=0,676). Са друге стране, највећи проценат варијансе је захваћен када се као зависна варијабла посматра географска дужина Азорског максимума. Класичном вишеструком регресијом је захваћено око 83% варијансе (прилагођено R^2=0,825), док се мултиваријантним адаптивним сплиновима захвата око 94% варијансе (прилагођено R^2=0,944).

Нешто ниже вредности се добијају за дужину Исландског минимума, где је вишеструком регресијом захваћено 76,5% варијансе ове варијабле, а МАРС техником око 88% (R^2=0,881). Код географске ширине Азорског максимума вишеструком регресијом се захвата „свега“ око 73% (прилагођено R^2=0,733).

Поступком мултиваријантних адаптивних сплинова је захваћен већи проценат варијансе (прилагођено R^2=0,895) него што је то случај са географском дужином Исландског минимума.

Ипак, ако се изузму резултати за ширину Исландског минимума, када се као зависна варијабла посматра интензитет притиска (било Исландског минимума, било Азорског максимума), вишеструком регресијом је захваћено знатно мање варијансе (вредност прилагођеног R^2 у овој процедури се креће од 0,474 за интензитет Азорског максимума до 0,649 за интензитет Исландског минимума) него што је то случај са положајем ових акционих центара. Међутим, МАРС техником се захвата преко 90% процената варијансе интензитета Исландског минимума (прилагођено R^2=0,914) и ово представља једну од највиших вредности међу посматраним критеријумским варијаблама, док за интензитет Азорског максимума прилађено R^2 износи 0,613.

У том контексту интересантни су резултати (али за Пацифичке акционе центре) до којих су дошли Christoforou & Hameed (1997). Анализирајући однос између Сунчеве активности (представљене годишњим бројем Сунчевих пега) и акционих центара у Тихом океану, они наводе следеће: „Показано је да постоји повезаност између екстремних вредности Сунчеве активности и позиције ових акционих центара. У току минималне активности Сунца, Алеутски минимум се креће према истоку, а Хавајски максимум према југу. Зато што промене у акционим центрима утичу на путање циклона, значајна одступања вредности климатских елемената на регионалном нивоу, у ствари могу бити потакнута екстремним фазама у Сунчевом циклусу“. Аутори такође наводе да поред статистичке значајности исказа о односу између Сунчеве активности и акционих центара, њихови резултати имају и практички значај за откривање механизма на коме почива повезаност и предвиђање промена климатских елемената.

Слични су налази Kirov & Georgieva (2002, према Georgieva et al. 2007). Поменути аутори анализирајући положај и интензитет акционих центара наводе да са порастом Сунчеве активности, оба субтропска центра високог притиска, Азорски и Хавајски максимум слабе и померају се према полу.

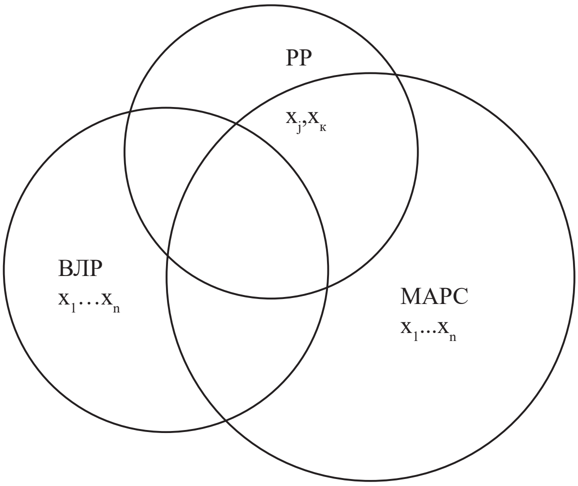
Алеутски минимум се такође помера према полу, док географска ширина Исландског минимума опада.

Када се као зависна варијабла посматра НАО индекс, вишеструком линеарном регресијом се захвата око 58% варијансе, а применом МАРС технике проценат захваћености варијансе НАО индекса расте на преко 90% (прилагођено R^2=0,906). Kirov & Georgieva (2002, према Georgieva et al. 2007) су користећи покретне тридесетогодишње вредности (период 1821–2000. година) уочили негативну корелацију (r=-0,73) између Сунчеве активности и НАО индекса, док Kodera (2002) издваја позитивне и негативне фазе, односно максимуме и минимуме Сунчеве активности у оквиру сваког од циклуса у периоду 1958–1997 и уочава повезаност са нивоом простирања сигнала НАО индекса (минимум активности повезан са синоптичким нивоом простирања 250–2000km и максимум активности са планетарним >2000km[11]).

У овом поглављу је такође учињен покушај идентификације најзначајнијих показатеља Сунчеве активности. Миловановић (2009) наводи да висока мултиколинеарност при коришћењу вишеструке линеарне регресије може представљати озбиљан проблем у оцењивању β коефицијената, те је стога за одстрањивање вишеструких преклапања, односно за њихово строже оцењивање погодна „гребенаста“ или риџ регресија (ridge regression).

„Риџ регресија је алтернативни метод за оцену регресионих коефицијената који се користи када постоји екстремно висока мултиколинеарност“ (Cohen et al. 2003). Предиктори издвојени на овакав начин упоређени су са онима добијеним МАРС техником. На графикону 14 Веновим дијаграмом је приказан општи поступак издвајања, а на графикону 15 и конкретан пример издвајања заједничких предиктора.

[11] Скале дате према Dunlop (2001, стр. 190. и 218)



ВЛР-вишеструка линеарна регресија

РР-риџ регресија

МАРС-мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови

$x_1...x_n$ -предикторске варијабле

x_j, $x_к$ – најзначајнији предиктори заједнички за РР и МАРС процедуру

Графикон 14. Општи случај одабира заједнички најзначајнијих предиктора различитим регресионим процедурама



Графикон 15. Пример одабира заједнички најзначајнијих предиктора за географску дужину Азорског максимума

Табела 10. Најзначајни предиктори[12] за одабране критеријумске варијабле (подебљаним словима су означени заједнички за риџ регресију и МАРС технику)

Назив критеријумске варијабле	**Класификација предиктора према примењеним процедурама**		
	Риџ регресија (РР)	*Вишеструка линеарна регресија (ВЛР)*	*Мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови (МАРС)*
W (зонално струјање)	**Поларне факуле,** Број Сунчевих пега	Површине под Сунчевим пегама, Број Сунчевих пега	**Поларне факуле,** Број група Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама
Е (нарушено зонално струјање)	Соларна радијација, Поларне факуле	Соларна радијација, Број група Сунчевих пега	Број Сунчевих пега, Број група Сунчевих пега
С (меридионално струјање)	**Соларна радијација,** Поларне факуле	Број Сунчевих пега, Соларна радијација	**Соларна радијација,** Број Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама
Интензитет Азорског максимума	**Број Сунчевих пега, Соларна радијација**	Број Сунчевих пега, Број група Сунчевих пега	**Број Сунчевих пега, Соларна радијација**
λ Азорског максимума	**Соларна радијација, Поларне факуле**	Соларна радијација, Број група Сунчевих пега	**Поларне факуле, Соларна радијација**
φ Азорског максимума	**Број група Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама**	Број група Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама	**Број група Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама**
Интензитет Исландског минимума	**Поларне факуле, Број Сунчевих пега**	Број Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама	**Поларне факуле, Број Сунчевих пега**
λ Исландског минимума	Број Сунчевих пега, **Соларна радијација**	Број Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама	Површине под Сунчевим пегама, **Соларна радијација**, АА индекс
φ Исландског минимума	**Број Сунчевих пега, Број група Сунчевих пега**	Број Сунчевих пега, Број група Сунчевих пега	**Број Сунчевих пега, Број група Сунчевих пега**
НАО индекс	**Број Сунчевих пега,** Соларна радијација	Сунчеве пеге, Соларна радијација	**Број Сунчевих пега,** Број група Сунчевих пега, Површине под Сунчевим пегама

[12] За вишеструку и риџ регресију су приказана по два најзначајнија предиктора, док је за МАРС (због ординалног рангирања) у појединим случајевима приказан већи број

У табели 10 се може уочити да су у пет од десет случајева, риџ регресијом и МАРС техником одабрани различити парови, односно триплети предиктора. Такође, не постоји потпуна подударност ни између парова оцена бета коефицијената добијених вишеструком линеарном регресијом и риџ регресијом (нпр. у случају зоналног струјања; географске дужине Исландског минимума итд.).

Са друге стране, у девет од десет случајева постоји најмање по један заједнички предиктор (изузетак представља нарушено зонално струјање – Е форма), док су код положаја и интензитета Азорског максимума, географске ширине и интензитета Исландског минимума издвојени истоветни парови показатеља Сунчеве активности. Овакав налаз је тестиран биномним тестом, при чему је сваком случају у коме постоји барем по један заједнички предиктор додељена вредност 1, а случају у коме не постоји ни један заједнички 0 (табела 11).

Табела 11. Резултати биномног теста појаве заједничких предиктора

	Категорија	**Број случајева**	**Добијена пропорција**	**Тест пропорција**	**Ниво значајности**
Група 1	0	1	0,1	0,5	0,021
Група 2	1	9	0,9		
Збир		10			

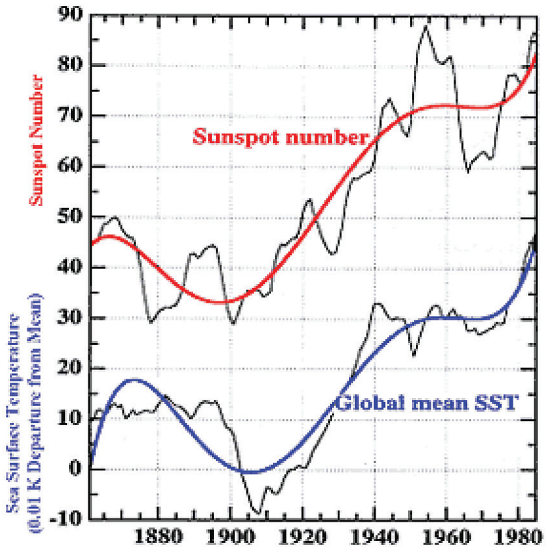
Резултат биномног теста указује на статистички значајну (на нивоу поверења изнад 95%) појаву заједничких предиктора. Иако овакав закључак није ослобођен арбитрарности (у погледу одабира процедура и добијених резултата, величине скупа података итд.), чини се да метод триангулације (или прецизније говорећи триангулација метода), односно упоређивања резултата већег броја процедура примењених на истоветан скуп података води ка стицању поузданијих информација. Према Mathison (1988) добијени резултати имају два „излаза“. У погледу повезаности Сунчеве активности и циркулације атмосфере резултати указују на несумњиво значајну везу између посматраних варијабли. Међутим, у погледу издвајања предиктора који су најзначајнији у поменутом односу није могуће доћи до конзистентног закључка, што упућује на испитивање и других теоријских поставки и следствено томе коришћењу других показатеља Сунчеве активности.

Сунчева активност и хидросфера (делови Светског мора)

Слично као и у претходном поглављу, покушали смо да установимо да ли постоји повезаност између показатеља Сунчеве активности и хидросфере, тачније температуре Светског мора (односно појединих делова Светског мора) за које се претпоставља да могу утицати на колебања климата на глобалном и/или регионалном нивоу. Посматрани су истоветни показатељи Сунчеве активности као и у претходном поглављу, док су као показатељи (делова) Светског мора коришћени подаци о Ел Нињу, одступању температуре океана на глобалном нивоу (ОГТО) и на Северној хемисфери (ОТОСХ), као и о садржају топлоте у Атлантском океану, односно северном делу овог океана.

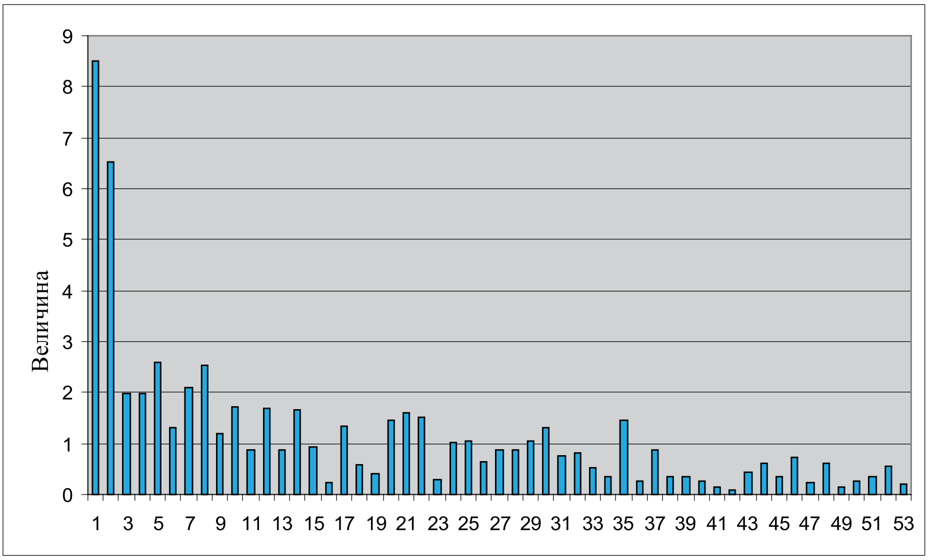
Важност Светског мора за климатски систем Земље јасно се види у Waliser (1996), који наводи да огромна термална инерција океана има значајан „медијаторски" ефекат на климу Земље, што указује на то да наша способност да предвидимо промене температуре на копну произилази из нашег разумевања интеракције клима – температура океана. Говорећи о утицају Атлантског океана на климу Европе, Rodwell, Rowell & Folland (1999) наводе следеће: „Површинска температура мора је повезана са атмосфером кроз испаравање, падавине и загревање атмосфере што доводи до промена температуре, падавина и честине циклона над Европом".

Са друге стране, White et al. (1997) користећи два сета података (GISST-Global Ice and Sea Surface Temperature – период 1900–1991; BT-bathythermograph temperatures – период 1955–1994) и анализирајући однос између Соларне радијације и температуре океана, како на глобалном нивоу тако и по појединим басенима (Атлантски, Пацифички, Индијски) закључују да постоји „одговор" океана на Соларну радијацију на декадном (9–13 година) и међудекадном нивоу (18–25 година). White, Cayan & Lean (1998) такође наводе да промене у Соларној радијацији значајно корелирају (са и без померајa у фази у зависности од посматране – декадне, односно међудекадне – временске скале) са температуром океана у појасу 20°–60°N. У том контексту је веома илустративан графикон 16 за покретне једанаестогодишње вредности броја Сунчевих пега и одступања површинске температуре мора на глобалном нивоу.

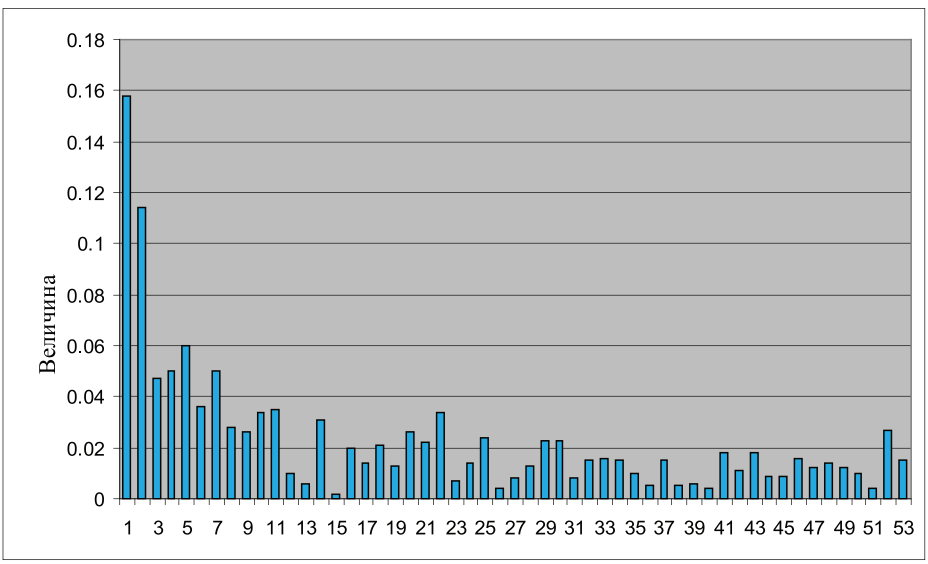


Графикон 16. Покретне једанаестогодишње вредности броја Сунчевих пега и одступања глобалне површинске температуре мора од просека за период 1951–1980. (Црвена и плава крива представљају полином седмог степена, према Christiansen, Haigh & Lundstedt 2007)

Због наведеног је најпре извршена спектрална анализа одступања површинске температуре океана на глобалном нивоу и температуре океана на Северној хемисфери (графикони 17 и 18), при чему је број случајева сведен према најкраћем низу (број група Сунчевих пега 1888–1995).



Графикон 17. Величине хармоника за одступања температуре океана на Северној хемисфери добијене дискретном Фуријеовом трансформацијом података



Графикон 18. Величине хармоника за одступања температуре океана на глобалном нивоу добијене дискретном Фуријеовом трансформацијом података

На графиконима 17 и 18 се може уочити да поред прва два хармоника, нешто веће вредности имају и хармоници под редним бројевима 5 и 8 (код одступања температуре океана на Северној хемисфери) и хармоник број 5 (код одступања температуре океана на глобалном нивоу), односно циклуси у трајању од око 13,25 и 21,2 године који су по дужини блиски Сунчевим циклусима (Швабеовом и Хејловом). У том контексту су интересантни наводи Weng-a (2005, стр. 796) који указује да непотпуно подударање у циклусима, није довољно ни за прихватање, нити за одбацивање хипотезе о утицају Сунчеве активности на промене температуре Светског мора, односно појединих његових делова. Због тога је извршена и корелациона анализа посматраних варијабли. У табели 12 су приказане само статистички значајне корелације на нивоу поверења од 95% (ознака*), односно 99% (ознака **), при чему су у зависности од дистрибуције коришћени или класичан Пирсонов коефицијент корелације или његова непараметарска алтернатива (Спирманова корелација рангова је дата у италику у табели 12). Са изузетком односа аа индекс/температура Светског мора која је у класи јаких, преостале корелације се крећу у класи средњих или слабих.

Табела 12. Коефицијенти корелације између показатеља Сунчеве активности и хидросфере (на годишњем нивоу)

Назив варијабле	**ОГТО**	**ОТОСХ**
аа индекс	0,504(**)	*0,495(**)*
Поларне факуле		
Број Сунчевих пега	*0,318(**)*	*0,280(**)*
Број група Сунчевих пега	*0,315(**)*	*0,266(**)*
Површине Сунчевих пега	*0,309(**)*	*0,273(**)*
Соларна радијација	*0,318(**)*	*0,274(**)*

С обзиром на то да Ел Нињо представља појаву која може имати утицаја и на остале компоненте климатског система, желели смо да проверимо да ли постоји веза између Сунчеве активности и ове појаве. Према Kirov & Georgieva (2002) „Ел Нињо јужна осцилација (ENSO-El Nino Southern Oscillation) представља поремећај у систему океан-атмосфера у тропском Пацифику који може имати значајне последице по време и климу Планете". Исти аутори наводе да постоји статистички значајна повезаност између Сунчеве активности, која је представљена бројем група Сунчевих пега, и појаве ENSO. Међутим, нас је интересовало да ли постоји веза само између појаве/одсуства Ел Нења, односно позитивног одступања температуре тропског Пацифика и Сунчеве активности.

С обзиром на епизодни карактер Ел Ниња, односно биномну природу (присуство/одсуство) ове варијабле, искоришћена је поинт бисеријална корелација, која упркос релативно великом броју случајева (n=108) ни у једном случају није била статистички значајна (табела 13).

Табела 13. Резултати поинт бисеријалне корелације између показатеља Сунчеве активности и Ел Ниња

Назив варијабле	**аа индекс**	**Поларне факуле**	**Број Сунчевих пега**	**Број група Сунчевих пега**	**Површине Сунчевих пега**	**Соларна радијација**
Ел Нињо	-0.01	0.04	-0.15	-0.15	-0.15	-0.12

Међутим, на овакав начин стиче се само информација о појединачном односу сваког од показатеља Сунчеве активности са појавом Ел Ниња. Да би се испитало да ли је Сунчева активност исказана кроз све поменуте показатеље повезана са Ел Нињом, примењена су два поступка (биномна логистичка регресија и техника „ојачаних“ стабала – boosted trees – из оквира рударења података). Може се закључити да резултати биномне логистичке регресије не указују на значајну повезаност (табела 14).

Табела 14. Основни резултати бинарне логистичке регресије

	Одсуство Ел Ниња 0	**Присуство Ел Ниња 1**	**Вредност χ^2 и p ниво омнибус теста**	**Nagelkerke R^2**	**Вредности количника шансе (expB) и Валдовог статистика (W)**
Одсуство Ел Ниња **0**	55	8	4,59 0,468	0,56	0,976-1,05 0,01-1,41
Присуство Ел Ниња **1**	34	11			

Од 108 случајева, правилно је предвиђено 66. Биномни тест оваквог резултата показује статистичку значајност ($\alpha<0,05$). Међутим, од 45 појава Ел Ниња, успешно је предвиђено свега 11 (24%). Такође, вредност χ^2 у омнибус тесту не указује на могућност модела да предвиди понашање зависне варијабле, а вредности Некелкерковог (Nagelkerke) R^2 указују на слабу повезаност Сунчеве активности и Ел Ниња. Вредности количника шансе су врло блиске јединици и крећу се од 0,976–1,05, односно ни један од предиктора не доприноси значајно предвиђању Ел Ниња (вредности Валдовог статистика крећу се од 0,01 до 1,41).

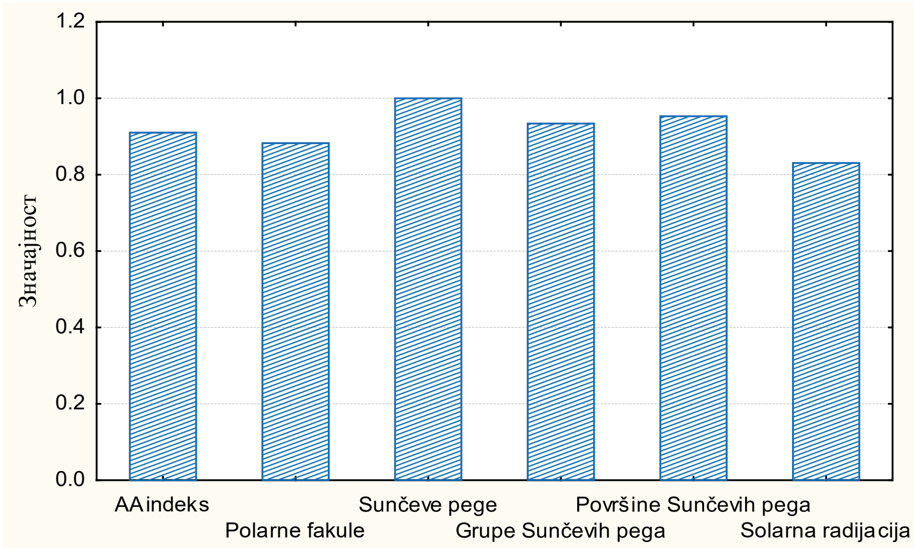
Применом „ојачаних“ или „бустованих“ стабала добијају се нешто другачији резултати. С обзиром на то да се ради о временским серијама, односно статистички зависним подацима, важно је напоменути да је било неопходно да се алгоритму унапред одреди скуп на коме ће „учити“ (81 случај) о односу посматраних варијабли и скуп на коме ће тестирати (последњих 27 случаја) могућност предвиђања, односно правилног класификовања присуства или одсуства Ел Ниња. На овакав начин стичу се информације о засебном значају сваког од предиктора, али и о повезаности између свих показатеља Сунчеве активности на једној и Ел Ниња на другој страни. Резултати примене ове процедуре као и резултат њиховог тестирања приказани су у табелама 15 и 16, док је значајност сваког од предиктора у правилном класификовању случајева дата графички (графикон 19).

Табела 15. Матрица (мис)класификације добијена „ојачаним“ стаблима

	Одсуство Ел Ниња 0	**Присуство Ел Ниња 1**
Одсуство Ел Ниња **0**	11	4
Присуство Ел Ниња **1**	4	8

Табела 16. Биномни тест резултата добијених „ојачаним“ стаблима

	Категорија	**Број случајева**	**Добијена пропорција**	**Тест пропорција**	**Ниво значајности**
Група 1	0	8	0,3	0,5	0,052
Група 2	1	19	0,7		
Збир		27			



Графикон 19. Значајност показатеља Сунчеве активности у предвиђању појаве Ел Ниња

Према подацима приказаним у табели 16, алгоритам бустованих стабала је од укупно 27 случајева за тестирање тачно предвидео 19 (70%), при чему је за одсуство Ел Ниња од могућих 15 случајева правилно класификовано 11 (73,3%), а за присуство Ел Ниња од могућих 12 случајева 8 (66,7%). Највећи значај за правилну класификацију у овом скупу података има број Сунчевих пега, број група Сунчевих пега и површине под Сунчевим пегама, док је најмањи значај Соларне радијације и поларних факула на Сунцу.

Ниво значајности биномног теста добијених резултата износи 0,052 и незнатно премашује вредност од 0,05. Ипак, уколико се овај уобичајени ниво значајности исказа доследно поштује, не може се одбацити претпоставка да не постоји повезаност између Сунчеве активности и Ел Ниња. С обзиром на овако мале разлике у нивоу значајности исказа, покушали смо да и алтернативним процедурама проверимо успешност предвиђања појаве Ел Ниња на основу показатеља Сунчеве активности. Међутим, ниједна од додатних процедура није показала боље резултате од бустованих стабала (табела 17). На основу тога се може закључити да када се Ел Нињо посматра као бинарна варијабла (присуство/одсуство), на основу показатеља Сунчеве активности није могуће предвидети појаву Ел Ниња.

Табела 17. Матрице (мис)класификације добијене класичним статистичким процедурама и рударењем података

Назив процедуре	Присуство/одсуство Ел Нија	
	1	**0**
[13]НМ Вишеструки скривени перцептрони 1	11	13
НМ Вишеструки скривени перцептрони 0	1	2
НМ Линеарна 1	8	7
НМ Линеарна 0	4	8
НМ Линеарна 1	8	6
НМ Линеарна 0	4	9
НМ Радијална базна функција 1	6	7
НМ Радијална базна функција 0	6	8
НМ Радијална базна функција 1	7	8
НМ Радијална базна функција 0	5	7
Бајесова класификација 1	4	8
Бајесова класификација 0	4	11
Потпорни вектори 1	0	12
Потпорни вектори 0	0	15
Дискриминациона анализа 1	8	4
Дискриминациона анализа 0	6	9

У претходном поглављу је поменуто да би појава Ел Нињa могла имати утицаја на међугодишње колебање климе, односно промене у некој од компонената климатског система. Marshall et al. (2001) наводе да на међугодишњем нивоу Ел Нињо јужна осцилација, може утицати на тропски Атлантик и vice versa. Овај, „даљински“ утицај ENSO може представљати значајан фактор варијабилитета Атлантског океана.

Стога смо покушали да утврдимо да ли се појава овог феномена може детектовати у одступању температуре океана на глобалном нивоу (ОГТО) и одступању температуре океана на Северној хемисфери (ОТОСХ). За то је примењен дизајн суперпонираних епоха (superposed epoch analysis), при чему је искоришћено 10 најснажнијих Ел Нињо догађаја у XX веку (према Livezey et al, 1997), али је додат и догађај из 1998. године који према Harrison-u (2005) такође припада овој класи.

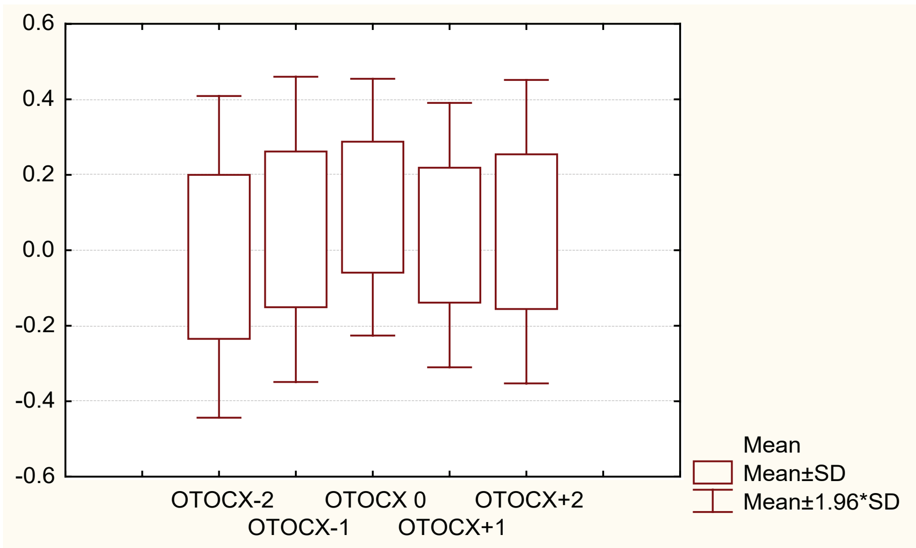
[13] НМ је скраћеница од неуронска мрежа

Hartmann (2008) наводи следеће: „Метод суперпонираних епоха може бити користан када постоје подаци о одређеном догађају, а потребно је детектовати ефекат тог догађаја који може бити комбинован са „шумом“ других могућих утицаја. Ако се подаци дизајнирају на одговарајући начин у односу на догађај чији се ефекат тражи, сигнал догађаја ће преостати, а сви остали утицаји ће се изравнати. Ова техника се може применити у детектовању климатског одговора на вулканске ерупције или Ел Нињо“. У табелама 18 и 19 (због графичке прегледности дати и дијаграмима 20 и 21) приказани су резултати суперпонираних епоха, при чему је као „нулта“ година посматрана она у којој је дошло до појаве Ел Ниња (ознака 0), а затим су у по две године пре (ознаке -2 и -1 уз скраћеницу варијабле) и после овог догађаја (ознаке +1 и +2 уз скраћеницу варијабле) Вилкоксоновим тестом испитане разлике у вредностима варијабли[14]. Показало се да су у години појаве Ел Ниња, вредности одступања температуре океана северне хемисфере значајно различите, односно значајно више него што је то случај у години пре и години после појаве Ел Ниња (године у којима постоји значајна разлика су приказане подебљаним словима). И код одступања температуре океана на глобалном нивоу највеће разлике постоје између године Ел Ниња и година које му претходе. Ипак, ниво значајности са којим се може закључити да постоји статистички значајна разлика је изнад 0,1 (p=0,1095).

Табела 18. Резултати Вилкоксоновог теста испитивања значајности разлике одступања површинске температуре океана на Северној хемисфери у годинама пре, у току и након појаве Ел Ниња

	Број случајева	**T**	**Z**	**p-level**
OTOCX-2 & OTOCX-1	11	13.000	1.778	0.075
OTOCX-2 & OTOCX 0	**11**	**8.000**	**2.222**	**0.026**
OTOCX-2 & OTOCX+1	11	13.000	1.778	0.075
OTOCX-2 & OTOCX+2	11	11.000	1.956	0.050
OTOCX-1 & OTOCX 0	**11**	**8.000**	**2.222**	**0.026**
OTOCX-1 & OTOCX+1	11	29.000	0.355	0.722
OTOCX-1 & OTOCX+2	11	29.000	0.355	0.722
OTOCX 0 & OTOCX+1	**11**	**6.000**	**2.400**	**0.016**
OTOCX 0 & OTOCX+2	11	16.000	1.511	0.130
OTOCX+1 & OTOCX+2	11	31.000	0.177	0.85

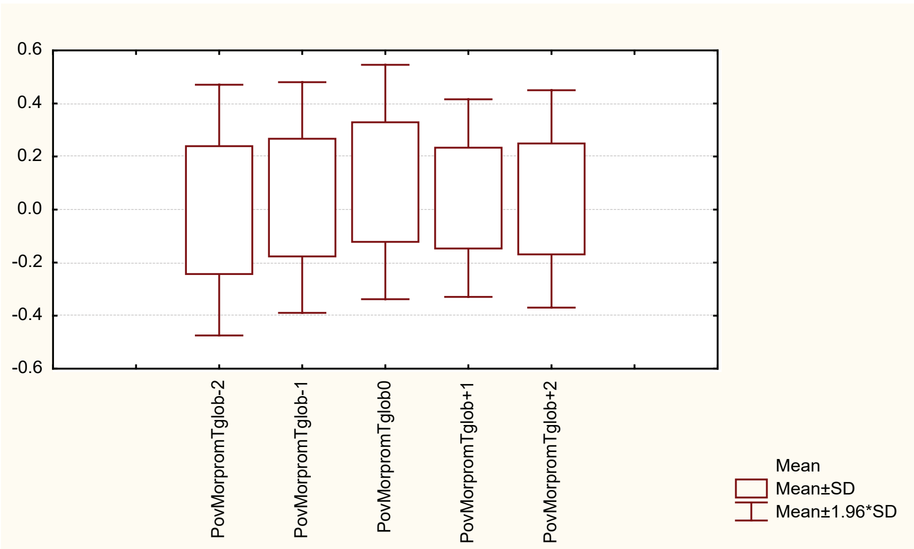
[14] Садржај топлоте у Атлантском океану, односно његовом северном делу није тестиран због недовољне дужине низова



Графикон 20. Дијаграм одступања температуре океана Северне хемисфере СВ

Табела 19. Резултати Вилкоксоновог теста испитивања значајности разлике одступања површинске температуре океана на глобалном нивоу у годинама пре, у току и након појаве Ел Нињa

	Број случајева	**T**	**Z**	**p-level**
ОГТО-2 & ОГТО-1	11	18.000	1.333	0.182
ОГТО-2 & ОГТО 0	11	15.000	1.600	0.109
ОГТО-2 & ОГТО+1	11	17.000	1.422	0.154
ОГТО-2 & ОГТО+2	11	22.000	0.978	0.328
ОГТО-1 & ОГТО 0	11	15.000	1.600	0.109
ОГТО-1 & ОГТО+1	11	30.000	0.266	0.789
ОГТО-1 & ОГТО+2	11	33.000	0.000	1.000
ОГТО 0 & ОГТО+1	11	20.000	1.155	0.247
ОГТО 0 & ОГТО+2	11	18.000	1.333	0.182
ОГТО+1 & ОГТО+2	11	31.000	0.177	0.858



Графикон 21. Дијаграм одступања температуре океана на глобалном нивоу

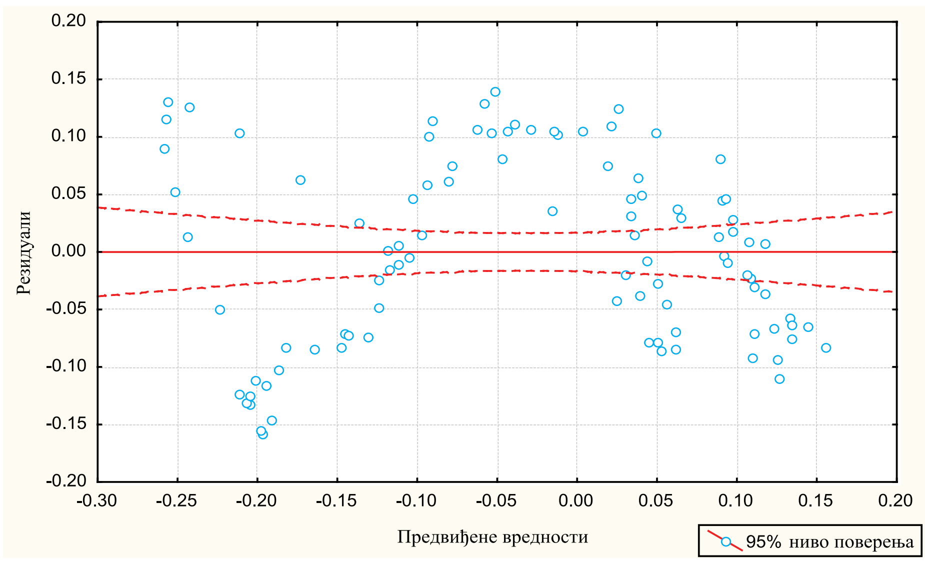
Да би се однос између показатеља Сунчеве активности и (делова) Светског мора „пречистио“, између осталог и од утицаја Ел Ниња, извршено је уравнавање података на покретне декадне вредности. Када се посматрају овако добијене вредности, корелација између њих расте и у највећем броју случајева се креће у класи јаких или веома јаких (табела 20).

Табела 20. Коефицијенти корелације између показатеља Сунчеве активности и (дела) Светског океана на покретном декадном нивоу[15]

	аа индекс	**Поларне факуле**	**Број Сунчевих пега**	**Број група Сунчевих пега**	**Површине Сунчевих пега**	**Соларна радијација**
ОГТО	0,854(**)		0,743(**)	0,835(**)	0,775(**)	0,839(**)
ОТОСХ	0,761(**)		0,694(**)	0,753(**)	0,747(**)	0,726(**)
Садржај топлоте у Атлантику	0,695(**)			0,665(**)	0,381(*)	0,584(**)
Садржај топлоте у северном Атлантику	0,703(**)			0,693(**)	0,415(**)	0,619(**)

[15] Приказане само статистички значајне корелације на нивоу поверења од 95% (ознака *) и 99% (ознака **)

Да би се утврдило у којој мери је „укупна“ Сунчева активност представљена свим поменутим параметрима повезана са променама у Светском мору, односно појединим његовим деловима, поново су искоришћене вишеструка линеарна регресија и МАРС техника (табела 21). Испитивање линеарног односа је код појединих варијабли (нпр. одступање температуре океана на Северној хемисфери) указивало на могућност постојања нелинеарне везе (графикон 22). Међутим, применом нелинеарне вишеструке регресије није постигнуто значајно веће захватање варијансе критеријумске варијабле.



Графикон 22. Однос предвиђених вредности и резидуала (критеријумска варијабла одступање температуре океана Северне хемисфере)

Табела 21. Основни резултати примене линеарне вишеструке регресије и мултиваријантних адаптивних регресионих сплинова (МАРС) на критеријумске варијабле хидросфере

Назив критеријумске варијабле	**Назив процедуре**				
	Број предиктора; број случајева	**Вишеструка линеарна регресија**		**Мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови (МАРС)**	
		Значајност модела	Захваћеност варијансе (прилагођено R^2)	Значајност модела	Захваћеност варијансе (прилагођено R^2)
Промене површинске температуре Светског мора	2;108	F=169,67; p=0,000	0,759	/	0,935
Одступање температуре океана Северне хемисфере	3;98	F=73,29; p=0,000	0,690	/	0,912
Садржај топлоте у Атлантику	3;36	F=93,50; p=0,000	0,888	/	0,918
Садржај топлоте у северном делу Атлантика	3;36	F=42,76; p=0,000	0,781	/	0,931

На основу резултата из табеле 21, може се закључити да је у скоро свим критеријумским варијаблама захваћен висок проценат варијансе. Вишеструком линеарном регресијом је захваћено од 69 до 89% варијансе преосталих варијабли (прилагођено R^2=0,690–0,888), док је код МАРС технике тај проценат знатно виши и креће се од 87–94% (прилагођено R^2=0,874–0,935). Најзначајнији предиктори добијени различитим процедурама приказани су у табели 22.

Табела 22. Најзначајни предиктори[16] за критеријумске варијабле хидросфере (подебљаним словима су означени заједнички за риџ регресију и МАРС технику)

Назив критеријумске варијабле	**Класификација предиктора према примењеним процедурама**		
	Риџ регресија	*Вишеструка линеарна регресија*	*Мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови (МАРС)*
Промене површинске температуре Светског мора	**аа индекс, број Сунчевих пега**	аа индекс, број Сунчевих пега	**аа индекс, број Сунчевих пега**
Одступање температуре океана Северне хемисфере	**аа индекс**, број Група Сунчевих пега	Број група Сунчевих пега, Соларна радијација, аа индекс	**аа индекс**, Соларна радијација
Садржај топлоте у Атлантику	**Соларна радијација, број Сунчевих пега**	Број Сунчевих пега, површине под Сунчевим пегама, Соларна радијација	**Број Сунчевих пега**, површине под Сунчевим пегама, **Соларна радијација**
Садржај топлоте у северном делу Атлантика	**аа индекс**, Соларна радијација	Број Сунчевих пега, Соларна радијација, аа индекс	Број Сунчевих пега, **аа индекс**

[16] За вишеструку и риџ регресију су приказана по два најзначајнија предиктора, док је за МАРС, због ординалног рангирања, у појединим случајевима приказан већи број

Вулканска активност и промене температуре ваздуха у Београду

У овом одељку текста смо покушали да одговоримо на питање: Да ли климатски подаци из Србије садрже „отисак“ снажних вулканских ерупција?

При снажним, експлозивним ерупцијама, вулкани избацују у атмосферу огромне количине различитих гасова, вулканског пепела и прашине. Избачене супстанце утичу, односно могу утицати на климу на различитим временско-просторним скалама. Могући утицај зависи од два фактора:

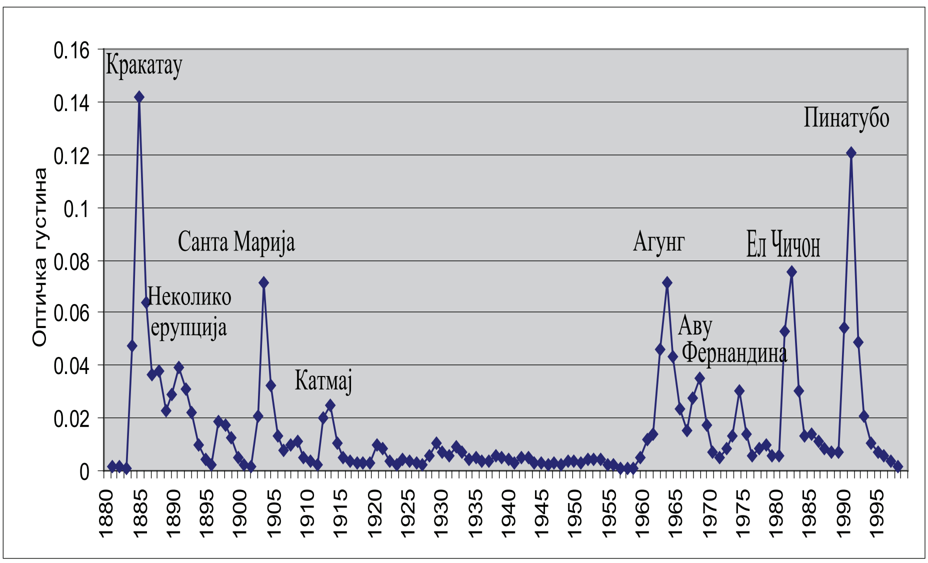
1. експлозивности ерупције;
2. количине и састава избачених материја.

Као мера експлозивности ерупције користи се ВЕ индекс (Volcanic Explosivity index) који су развили Newhall & Self 1982. године. Овај индекс представља комбинацију квалитативних и квантитативних параметара на основу којих се може (приближно) одредити експлозивност ерупција у ближој и даљој историји за које, иначе, не постоје довољно детаљни извештаји (табела 23).

Табела 23. Критеријуми за одређивање ВЕ индекса (Global Volcanism Program - http://www.volcano.si.edu/world/eruptioncriteria.cfm#VEI)

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
General Description	Non-Explosive	Small	Moderate	Moderate-Large	Large	Very Large			
Volumn of Tephra (m^3)		1×10^4	1×10^6	1×10^7	1×10^8	1×10^9	1×10^{10}	1×10^{11}	1×10^{12}
Cloud Column Height (km) Above crater / Above sea level	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	← >25 →			
Qualitative Description	"Gentle,"	"Effusive"	← "Explosive" →		← "Cataclysmic," "paroxysmal," "colossal" →				
				← "Severe," "violent," "terrific" →					
Eruption Type (see fig. 7)		← Strombolian →		← Plinian →					
	← Hawaiian →		← Vulcanian →		← Ultra-Plinian →				
Duration (continuous blast)	← <1 hr →				← >12 hrs →				
			← 1-6 hrs →						
				← 6-12 hrs →					
Maximum explosivity	Lava flow	← Explosion or Nuée ardente →							
		← Phreatic → - - - - →							
	Dome or mudflow								
Tropospheric Injection	Negligible	Minor	Moderate	Substantial →					
Stratospheric Injection	None	None	None	Possible	Definite	Significant →			
Eruptions	976	1239	3808	1083	412	168	50	6	0

Снажне вулканске ерупције се на глобалном нивоу могу детектовати на основу количине вулканског аеросола у атмосфери (графикон 23). Међутим, у погледу утицаја на климу, поред количине избаченог вулканског материјала, важан је и његов састав. Поред лаве, највећи део избаченог материјала представљају вулканска прашина и пепео, који се у атмосфери задржавају од свега неколико минута до неколико недеља након чега падају на земљу. Мање количине које немају битнијег утицаја на климу могу опстати и неколико месеци. Mass & Robock (1982, према Robock A. 2000) су показали да је након ерупције Свете Јелене, на простору на коме се формирао облак вулканске прашине, дошло до смањења дневне амплитуде температуре ваздуха, али је овај ефекат ишчезао по спуштању честица на земљу.

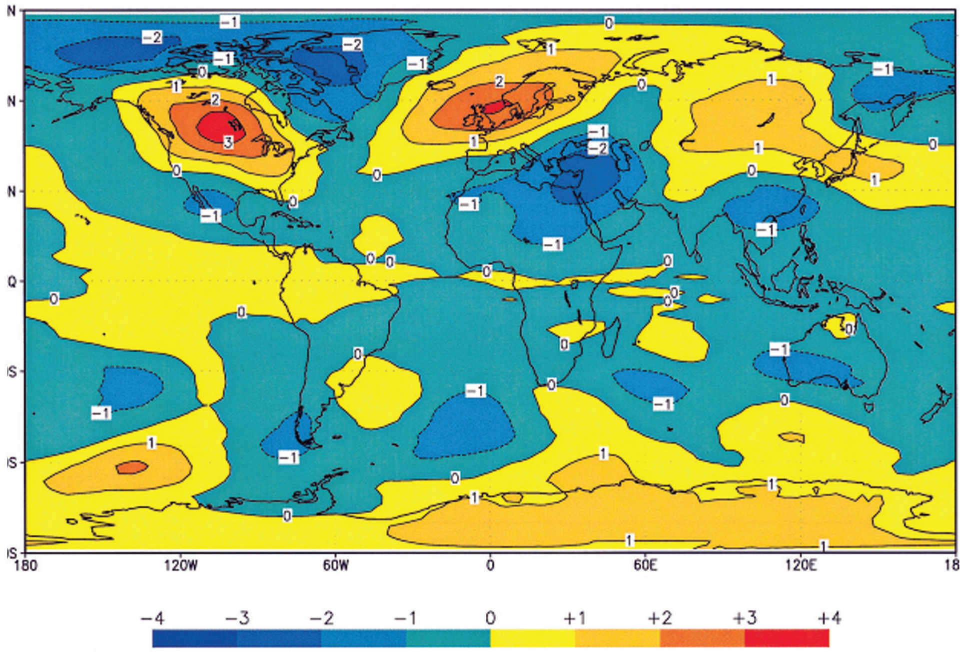


Графикон 23. Количина стратосферског аеросола на Земљи у периоду 1850–1999 мерена на таласној дужини од 550 nm (Sato et al. 1993, подаци преузети са http://data.giss.nasa.gov/modelforce/strataer/)

Вулканским ерупцијама у атмосферу доспевају и огромне количине гасова од којих су најзаступљенији водена пара (H_2O), угљен-диоксид (CO_2), сумпор-доиксид (SO_2) и у мањој мери угљен-моноксид (CO), хидроген (H_2), хидроген сулфид (H_2S), хидроген-флуорид (HF), хидроген-хлорид (HCl) и хелијум (H_e) (Textor et al. 2006).

Robock & Mao (1995) наводе да је утицај вулканских ерупција на климу директно повезан са количином сумпор-диоксида избаченом у стратосферу, где долази до реакције овог гаса са воденом паром и стварања финог сулфатног аеросола који, опстајући у атмосфери неколико година, утиче на повећану дифузију и одбијање Сунчевог зрачења. Смањењем директног и тоталног износа радијације која доспева на површину Земље, долази до хлађења тропосфере, али истовремено, задржавањем дуготаласног земљиног израчивања и Сунчевог зрачења у делу спектра блиском инфрацрвеном у стратосфери (Stenchikov et al. 1998) долази до пораста њене (стратосферске) температуре.

Према Graf, Li & Georgetta (2007), загревање стратосфере при снажним ерупцијама вулкана, веће је у ниским него у високим ширинама, што доводи до појачавања зоналног струјања атмосфере у току зиме у умереним и субполарним ширинама и следствено томе до адвекције топлог маритимног ваздуха над континенте северне хемисфере (односно пораста зимске температуре ваздуха). Са друге стране, Robock (2000) и Robock & Mao (1995) су анализирајући глобалне температуре ваздуха након снажних вулканских ерупција крајем 19. и током 20. века (табела 24) уочили снижавање зимских температура (карта 1) у тропским и (највећим делом) субтропским ширинама северне хемисфере, као и снижавање летњих температура ваздуха у периоду до две године након великих ерупција, што аутори приписују утицају сулфатног аеросола у стратосфери, односно редукцији Сунчевог зрачења које доспева на површину Земље.



Карта 1. Зимска (децембар, јануар, фебруар) одступања температуре ваздуха у тропосфери у односу на средњу вредност „невулканског“ периода 1984–1990. година. Одступања температуре се односе на зиму 1991/1992 након ерупције вулкана Пинатубо 1991. године. Оваква просторна расподела је типична након свих великих ерупција у тропима и карактерише је загревање изнад севера Европе, Сибира и северне Америке и хлађење Аљаске, Гренланда, северне Африке, средњег истока и Кине (Robock, 2000).

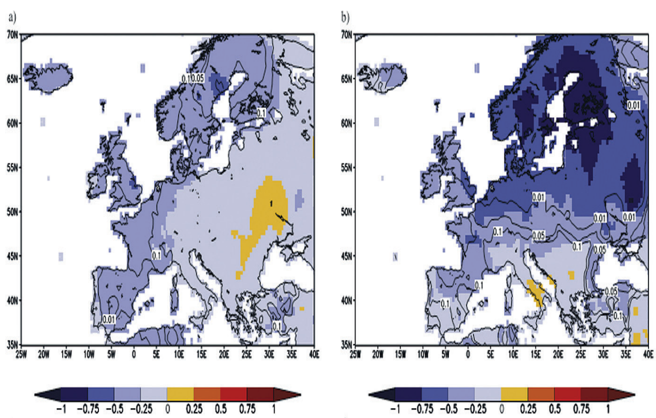
Табела 24. Листа од 15 вулканских ерупција са највећим уносом аеросола у стратосферу (Robock & Mao 1995)

Редни број	Вулкан	Месец/ година ерупције	Географска ширина	ДВ индекс[17]	ВЕ индекс
1	Аскја (Askja)	Март 1875.	65° N	1000	5
2	Кракатау (Krakatau)	Август 1883.	6° S	1000	6
3	Таравера (Tarawera)	Август 1886.	38° S	800	5
4	Бандај (Bandai)	Јули 1888.	38° N	500	4
5	Суфрије (Soufriere)	Мај 1902	13° N	300	4
6	Света Марија (Santa Maria)	Октобар 1902.	15° N	600	6
7	Ксудаш (Ksudach)	Март 1907.	52° N	500	5
8	Катмај (Katmai)	Јуни 1912.	58° N	500	6
9	Куизапо (Quizapo)	Април 1932.	36° S	70	5
10	Безимјаниј (Bezymianny)	Март 1936.	56° N	30	5
11	Агунг (Agung)	Март 1963.	8° N	800	4
12	Фуего (Fuego)	Октобар 1974.	14° N	250	4
13	Света Јелена (Mt.St.Helens)	Мај 1980.	46° N	500	5
14	Ел Чичон (El Chichon)	Април 1982.	17° N	800	5
15	Пинатубо (Mt. Pinatubo)	Јуни 1991.	15° N	1000	6

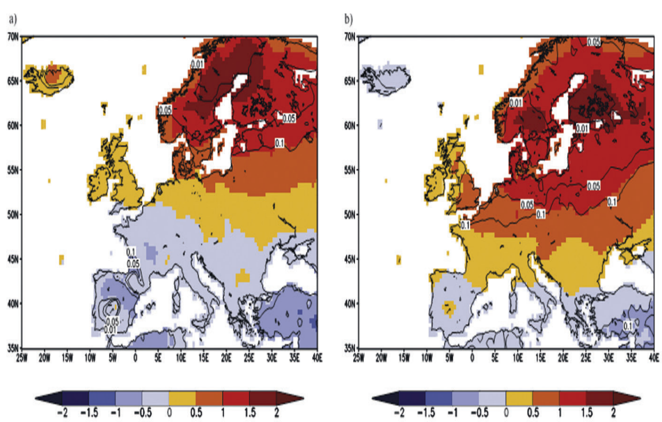
Fischer et al. (2007) су анализирали утицај 15 великих ерупција вулкана тропских ширина на климу Европе у последњих 500 година. Установили су да у години ерупције и у првој години након ње долази до снижавања летњих температура у Европи.

[17] ДВ индекс (Dust Veil index) би се могао превести као индекс застора, или замућености Земљине атмосфере вулканском прашином. Креирао га је Lamb 1970. године у покушају да квантификује и нумерички изрази утицај вулканске прашине и аеросола који се ослобађају током експлозивних вулканских ерупција на радијациони биланс Земље

То снижавање је најизраженије у северној и североисточној Европи, а нешто је слабије изражено у централној Европи и деловима Медитерана.Повећање зимске температуре ваздуха присутно је у години ерупције и првој години након ње. Просторна расподела указује да је ово повећање најизраженије над северном Европом (нарочито у Скандинавији и простору Балтика), док је у јужној Европи присутно незнатно захлађење (карте 2 и 3). Поменути аутори овакву просторну расподелу одступања зимских температура ваздуха приписују позитивној фази НАО индекса (која је повезана и са снажним вулканским ерупцијама у тропима).

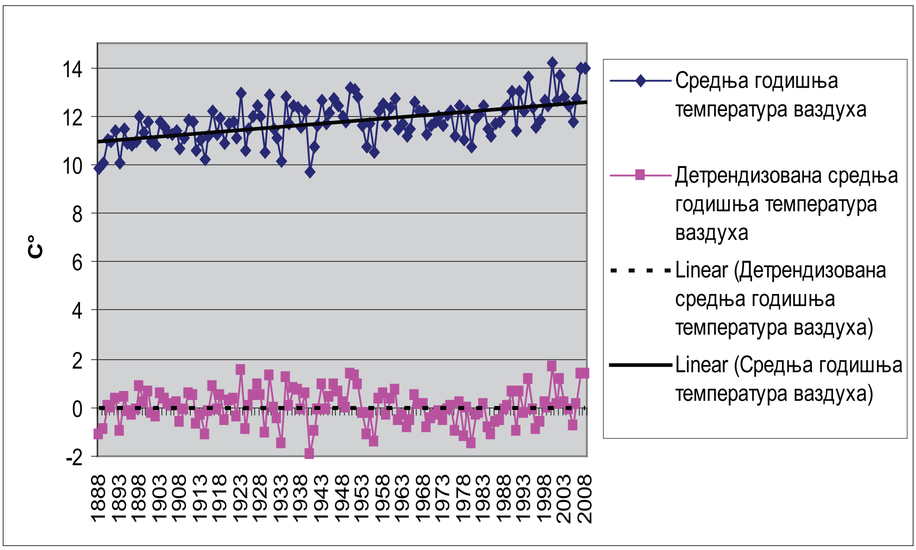


Карта 2. Одступања летњих температура ваздуха у години ерупција (а) и у години након ерупција (б). Црне контуре представљају нивое значајности, p-нивое (на нивоима поверења од 90%, 95%, 99%) добијене Ман-Витнијевим тестом суме рангова (према Fischer et al. 2007)

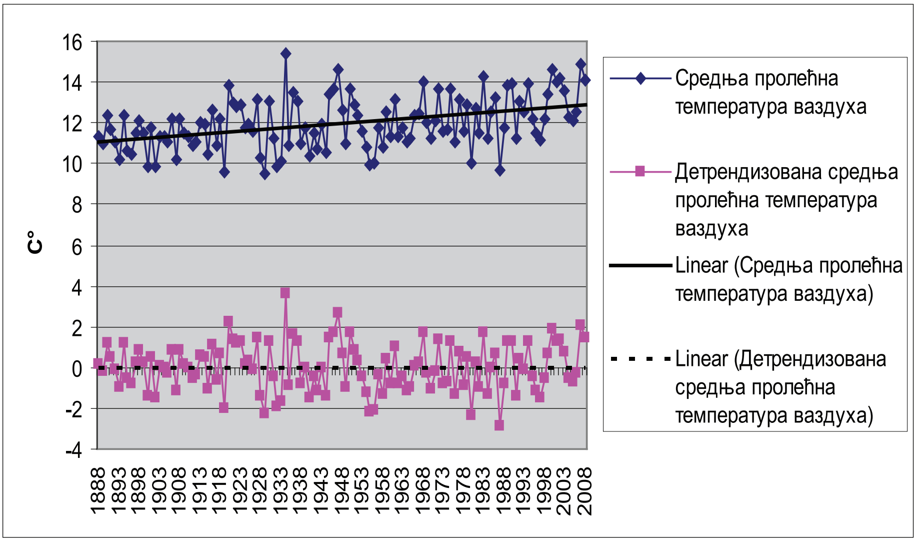


Карта 3. Одступања зимских температура ваздуха у години ерупција (а) и у години након ерупција (б). Црне контуре представљају нивое значајности, p-нивое (на нивоима поверења од 90%, 95%, 99%) добијене Ман-Витнијевим тестом суме рангова (према Fischer et al. 2007)

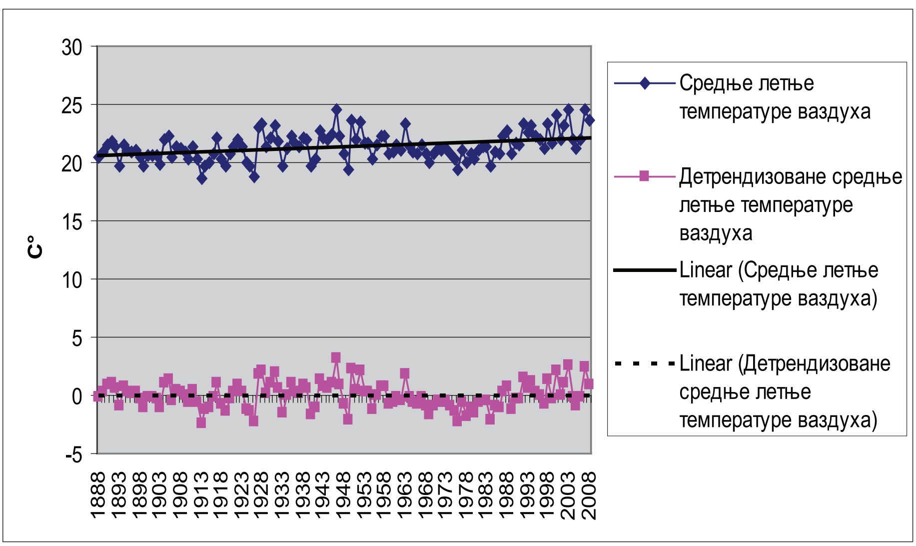
Резултати приказани у Fischer et al. (2007) подстакли су нас да проверимо могући утицај великих вулканских ерупција на температуру ваздуха у Србији. С обзиром на то да најдужи низ осматрања постоји за станицу Београд (од августа 1887. године), за ово испитивање искоришћене су вулканске ерупције из табеле 24 од редног броја 5–15. Да би се из временске серије уклонио ефекат урбаног острва топлоте и других климатских фактора, односно пораст температуре ваздуха (уочљив и на годишњем и на сезонском нивоу), вредности су прво детрендизоване (графикони од 24 до 28).



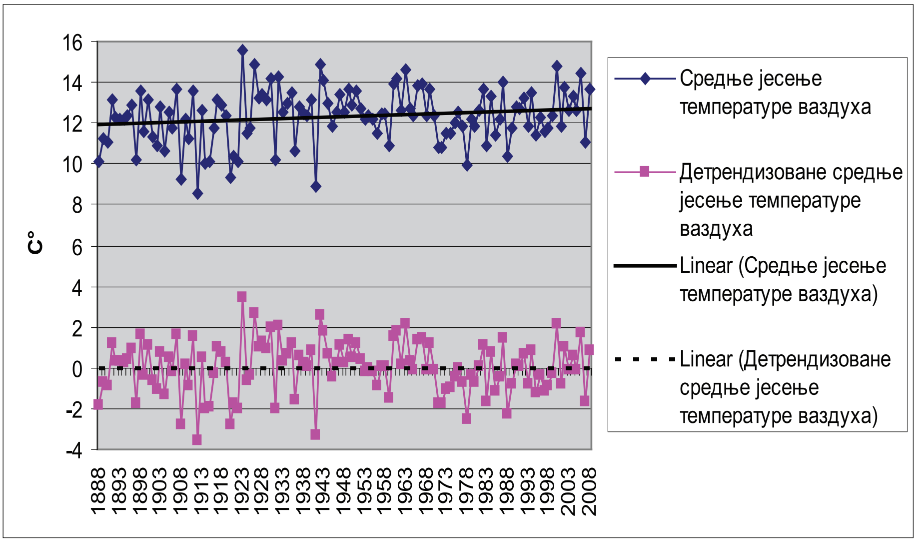
Графикон 24. Средње годишње и детрендизоване вредности температуре ваздуха у Београду у периоду 1888–2008. година



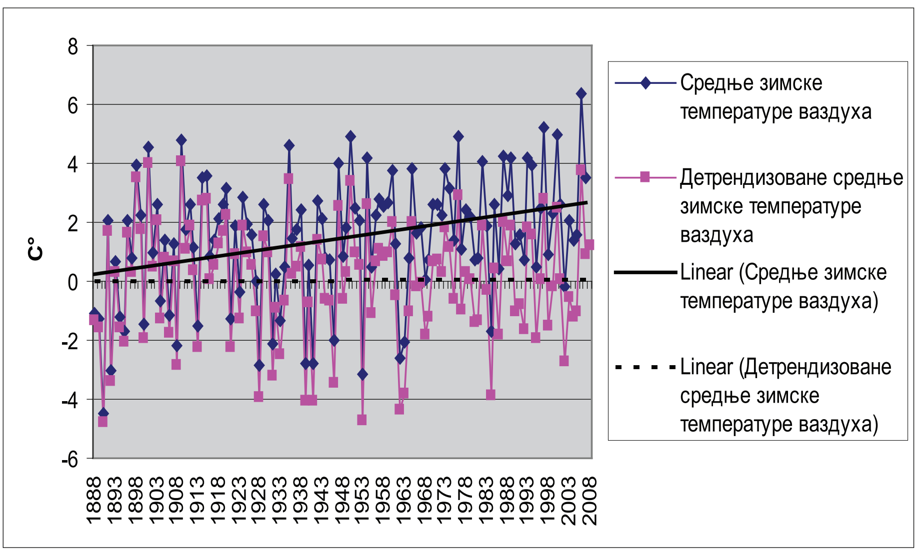
Графикон 25. Средње пролећне и детрендизоване вредности температуре ваздуха у Београду у периоду 1888–2008. година



Графикон 26. Средње летње и детрендизоване вредности температуре ваздуха у Београду у периоду 1888–2008. година



Графикон 27. Средње јесење и детрендизоване вредности температуре ваздуха у Београду у периоду 1888–2008. година

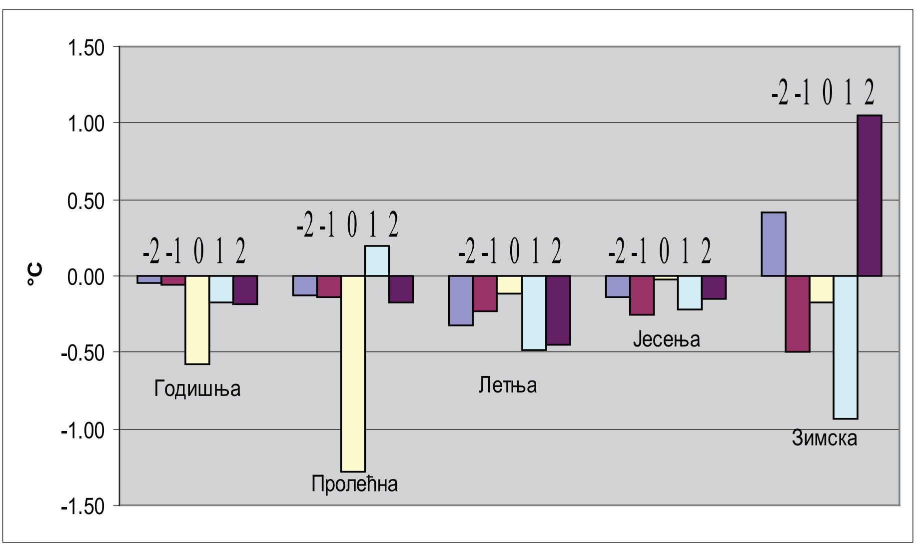


Графикон 28. Средње зимске и детрендизоване вредности температуре ваздуха у Београду у периоду 1888–2008. година

За детектовање могућег утицаја великих вулканских ерупција на температуру ваздуха у Београду поново је искоришћен дизајн суперпонираних епоха (табела 25, графикон 29). Применом анализе варијансе и post-hoc ЛСД (Least Significant Difference) теста на овако дизајниране податке испитане су разлике између одступања температуре ваздуха (на годишњем и сезонском нивоу) у току две године пре ерупције (ознаке -2 и -1), у години ерупције (ознака 0) и у току две године након ерупције (ознаке 1 и 2).

Табела 25. Одступања температуре ваздуха на годишњем и сезонском нивоу у току две године пре ерупције (ознаке -2 и -1), у години ерупције (ознака 0) и у току две године након ерупције (ознаке 1 и 2)

Ознака године	**Број случајева**	**Средње вредности одступања температуре ваздуха**				
		Годишња	Пролећна	Летња	Јесења	Зимска
-2	10	-0.05	-0.13	-0.33	-0.13	0.41
-1	10	-0.06	-0.13	-0.23	-0.25	-0.50
0	10	-0.57	-1.28	-0.12	-0.02	-0.17
1	10	-0.18	0.20	-0.49	-0.22	-0.94
2	10	-0.18	-0.17	-0.45	-0.15	1.05
Ср.вредност		-0.21	-0.30	-0.32	-0.16	-0.03



Графикон 29. Одступања температуре ваздуха на годишњем и сезонском нивоу у току две године пре ерупције (ознаке -2 и -1), у години ерупције (ознака 0) и у току две године након ерупције (ознаке 1 и 2)

На основу вредности приказаних у табели 25 и на графикону 29, може се закључити да је на годишњем нивоу највеће негативно одступање температуре у нултој години (години у којој је дошло до ерупције). И прва и друга година (1 и 2) након ерупције су нешто хладније од оних које јој претходе (-1 и -2). Најизраженије смањење температуре у години ерупције постоји код пролећних температура ваздуха. Летње и јесење температуре су у години ерупције нешто више него у годинама које јој претходе, али су лета у првој и другој години након ерупције нешто хладнија. За разлику од резултата приказаних у Fischer et al. (2007), одступања зимске температуре ваздуха у првој години након ерупције су изразито негативна, док је тек друга зима након ерупције знатно топлија.

Резултати Левенеовог теста приказани у табели 26 указују да су испуњени услови за примену анализе варијансе. Ова процедура је показала да не постоје статистички значајне разлике у вредностима температуре ваздуха између година које претходе ерупцији и година након ње (табела 27). Ипак, с обзиром на то да је код пролећних температура ниво значајности са којим би се могла одбацити хипотеза да не постоје значајне разлике између „вулканских“ и „невулканских“ година близак вредности од 0,05, и да је код зимских температура ваздуха у првој години након ерупције присутно изразито негативно, а у другој години након ерупције изразито позитивно одступање температуре, на ове податке је примењен ЛСД тест. Резултати приказани у табели 28 указују да су пролећне температуре ваздуха у години ерупције значајно ниже (p=0,05) него температуре ваздуха и у годинама пре и у годинама након ерупције. Зимске температуре ваздуха у првој години након ерупције су значајно ниже (p=0,05) од температура ваздуха у другој зими након ерупције (табела 29).

Табела 26. Резултати Левеоновог теста за једнакост варијанси температура ваздуха у току две године пре ерупције, у години ерупције и у току две године након ерупције

	СКИГ	**df ВарИГ**	**ВарИГ**	**СКУГ**	**df ВарУГ**	**ВарУГ**	**F статистик**	**p ниво**
Годишња	1.090	4	0.273	6.588	45	0.146	1.862	0.134
Пролећна	1.742	4	0.435	21.639	45	0.481	0.906	0.469
Летња	0.785	4	0.196	17.682	45	0.393	0.500	0.736
Јесења	4.533	4	1.133	25.074	45	0.557	2.034	0.106
Зимска	6.718	4	1.679	57.764	45	1.284	1.308	0.281

Табела 27. Резултати анализе варијансе одступања температуре ваздуха на годишњем и сезонском нивоу у току две године пре ерупције, у години ерупције и у току две године након ерупције

	СКИГ	**df ВарИГ**	**ВарИГ**	**СКУГ**	**df ВарУГ**	**ВарУГ**	**F статистик**	**p ниво**
Годишња	1.847	4	0.462	20.676	45	0.459	1.005	0.415
Пролећна	12.854	4	3.214	59.785	45	1.329	2.419	0.062
Летња	0.930	4	0.233	49.298	45	1.096	0.212	0.930
Јесења	0.320	4	0.080	75.574	45	1.679	0.048	0.996
Зимска	24.253	4	6.063	170.123	45	3.781	1.604	0.190

Табела 28. Нивои значајности разлике добијени Фишеровим ЛСД тестом између пролећних температура у току две године пре ерупције, у години ерупције и у току две године након ерупције[18]

	-2	-1	0	1	2
-2		0.988	**0.030**	0.534	0.932
-1	0.988		**0.031**	0.524	0.944
0	**0.030**	**0.031**		**0.006**	**0.037**
1	0.534	0.524	**0.006**		0.479
2	0.932	0.944	**0.037**	0.479	

Табела 29. Нивои значајности разлике између зимских температура у току две године пре ерупције, у години ерупције и у току две године након ерупције добијени Фишеровим ЛСД тестом

	-2	-1	0	1	2
-2		0.299	0.506	0.127	0.468
-1	0.299		0.706	0.618	0.081
0	0.506	0.706		0.383	0.168
1	0.127	0.618	0.383		**0.027**
2	0.468	0.081	0.168	**0.027**	

[18] Болдирани резултати су статистички значајни на p=0,05

Промене у циркулацији атмосфере и климе у Србији

У овом одељку текста смо покушали да одговоримо на питање: Да ли и у којој мери промене у циркулацији атмосфере утичу на колебање климе у Србији?

Циркулација атмосфере игра значајну улогу у формирању климата на одређеном простору. Dzerdzevski наводи: „Све промене температуре ваздуха и количине падавина су условљене променама у циркулацији атмосфере“ (Dzerdzevski, 1963, стр. 293). Као показатељи циркулације атмосфере искоришћени су подаци о акционим центрима изнад северног Атлантика (Азорски максимум, Исландски минимум), НАО индексу и циркулационим формама представљеним Вангенгајм-Гирс типологијом, при чему се према Угрюмов (2006**)** под типом атмосферске циркулације мисли на стабилну просторну расподелу основних барических формација и правца њиховог кретања у одређеном временском интервалу. Типови циркулације добијају се поделом непрекидне секвенце синоптичких процеса на одређен број стабилних стања.

Теоријске основе Вангенгајм-Гирс типологије циркулације атмосфере су постављене у Русији у првој четвртини 20. века од стране Б.П. Мултановског (рус. Борис Помпеевич Мультановский). Овај аутор је, анализирајући честину и положај антициклона над Европом, установио да постоји стабилан распоред барических поља у трајању од 5–7 дана (елементарни синоптички период). Полазећи од налаза Мултановског, током тридесетих година 20. века Вангенгајм (рус. Георгий Яковлевич Вангенгейм) издваја 26 типских стања поља притиска на северној полулопти, која се разликују по положају барических долина и гребена у тропосфери. (тзв. елементарних синоптичких процеса трајања 3–4 дана). Током трајања елементарних синоптичких процеса на простору северног Атлантика и Европе остаје непромењена географска расподела знака баричког поља и основних праваца преноса ваздушних маса.

Током четрдесетих година 20. века Вангенгајм, а након њега и Гирс (рус. Александр Александрович Гирс) све типске елементарне синоптичке процесе (ЕСП) своде на три форме атмосферске циркулације на основу преовладавајућег правца преноса ваздушних маса: западну W, источну Е и меридионалну С. У сваку форму улази неколико ЕСП, који су слични по структури метеоролошких поља; тако да форма циркулације атмосфере у ствари представља укрупњени аналог ЕСП. Према Seep (2005) критеријуми за сврставање ЕСП у одређену циркулациону форму су:

- сличност барички поља и праваца изалобара;
- сличност праваца баричких и термичких градијената у тропосфери;
- сличност праваца у струјању ваздуха у тропосфери;

Исти аутор наводи основне карактеристике циркулационих форми:

- зоналну W форму карактерише западно струјање (од Атлантика према истоку Европе);
- источну Е форму карактерише баричка долина над централном Европом и поремећај западног струјања у коме може доћи до циркулације у обрнутом смеру исток-запад;
- меридионалну С форму карактерише меридионално струјање над Европом и може се дефинисати као прелазна форма између зоналне и источне циркулације.

У раду су коришћени подаци из Dumanskaya & Fedorenko (2008) који су на основу анализе годишње фреквенције појављивања сваке од поменутих форми у односу на стогодишњи просек, свакој години доделили одређену циркулациону форму. С обзиром на то, да мали број година припада комбинованом типу (1950, 1958, 1968, 1971. година припадају Е+С типу, док 1997. година припада W+E типу), ови случајеви су искључени при испитивању значајности разлике температура ваздуха и количине падавина на територији Србије у току појаве сваке од циркулационих форми.

Подаци о унутаргодишњој заступљености сваке од поменуте три форме циркулације атмосфере добијени су личним контактом са колегама из Арктичко-Антарктичког Института у Санкт Петерсбургу и односе се на период 1949–2004. године (56 година)[19]. Код конструисања линеарних модела, због изоловања могуће везе између температуре ваздуха, односно количине падавина у Србији и акционих центара, односно циркулационих

[19] Ове податке смо добили посредством господина Дмитрија Киктева (рус. Дмитрий Борисович Киктев) из Хидрометеоролошког центра Русије, Москва, на чему му се захваљујемо

форми, вредности су осредњене на покретном декадном нивоу, тако да се добило 46 случајева.

Sizov (2000) је показао да разлика у ваздушном притиску између региона омеђених координатама 30–40°N; 20–30°W и 60–70°N; 10–20°W јесте повезана са циркулационим формама Вангенгајм-Гирс типологије. Овај аутор наводи да разлика у притиску између ова два појаса која је већа од вишегодишњег просека кореспондира са зоналном W формом, док разлика која је мања од просечне одговара Е и С циркулационим формама. У складу са овим налазима покушали смо да проверимо да ли постоји повезаност (на сезонском, годишњем и покретном декадном нивоу) између података којима располажемо о положају/интензитету Атлантских акционих центара и NAO индекса на једној и Вангенгајм-Гирс циркулационих форми на другој страни (табеле 30 и 31).

Табела 30. Коефицијенти корелације[20] између географске ширине/дужине, интензитета ваздушног притиска у Атлантским акционим центрима, NAO индекса и циркулационих форми представљених Вангенгајм-Гирс типологијом циркулације атмосфере у периоду 1949–2004.

Форма		**Исландски минимум**			**Азорски максимум**			**NAO индекс**
		ГДИМ	ГШИМ	ИИМ	ГДАМ	ГШАМ	ИАМ	
W	Пролеће	-0.219	0.195	-0.088	-0.287(*)	0.403(**)	0.257	0.206
	Лето	-0.240	-0.342(**)	0.188	-0.227	0.070	-0.017	-0.146
	Јесен	-0.083	0.093	-0.016	-0.228	0.089	0.043	0.242
	Зима	-0.068	0.445(**)	-0.414(**)	-0.563(**)	0.414(**)	0.574(**)	0.613(**)
	Годишње	-0.026	0.140	-0.273(*)	-0.344(**)	0.357(**)	0.207	0.273(*)
E	Пролеће	-0.026	0.102	-0.061	0.258	-0.127	-0.022	-0.044
	Лето	0.055	0.288(*)	-0.117	0.160	-0.171	0.300(*)	0.209
	Јесен	0.029	-0.092	0.013	0.205	-0.118	0.099	-0.139
	Зима	-0.209	-0.150	0.221	0.595(**)	-0.428(**)	-0.427(**)	-0.380(**)
	Годишње	-0.080	0.073	0.101	0.380(**)	-0.298(*)	0.021	-0.119
C	Пролеће	0.284(*)	-0.364(**)	0.184	-0.035	-0.280(*)	-0.260	-0.172
	Лето	0.191	-0.003	-0.052	0.039	0.149	-0.378(**)	-0.115
	Јесен	0.053	0.021	0.001	-0.021	0.059	-0.180	-0.082
	Зима	0.458(**)	-0.364(**)	0.209	-0.224	0.159	-0.073	-0.213
	Годишње	0.185	-0.336(*)	0.219	-0.176	0.014	-0.336(*)	-0.186

[20] Статистички значајне на нивоу поверења од 95% (ознака *) и 99% (ознака **)

На годишњем нивоу, зонална W циркулациона форма показује статистички значајну корелацију са интензитетом притиска у Исландском минимуму, положајем Азорског максимума и NAO индексом. С обзиром на знак везе, може се закључити да са смањењем притиска у Исландском минимуму, појачавањем НАО индекса и померањем Азорског максимума на североисток долази до појачавања западног струјања. Источна Е циркулациона форма показује статистички значајну корелацију само са положајем Азорског максимума (са померањем овог акционог центра на југозапад долази до јачања Е форме), док у случају меридионалне С форме повезаност постоји са променама притиска у Азорском максимуму и географском ширином Исландског минимума (померање Исландског минимума према југу и слабљење Азорског максимума потенцира меридионално струјање). Статистички значајне корелације су или слабе (Пирсоново r од ÷0,2-0,3≈) или средње јаке (Пирсоново r од ÷0,3-0,5≈). У току пролећних месеци W форма показује највећу корелацију са положајем Азорског максимума, С форма са положајем Исландског минимума и географском ширином Азорског максимума, док Е форма не показује статистички значајну корелацију ни са једним од посматраних елемената акционих центара, нити NAO индексом.

У току летњих месеци постоји статистички значајна корелација W форме са географском ширином Исландског минимума, Е форме са географском ширином Исландског минимума и интензитетом Азорског максимума и С форме са интензитетом Азорског максимума. У току јесењих месеци не постоје статистички значајне корелације између Вангенгајм-Гирс циркулационих форми и акционих центара. Најјаче корелације постоје у току зиме када се између W форме и НАО индекса и скоро свих елемената акционих центара (изузетак представља географска дужина Исландског минимума) крећу од ≈0,414-0,613÷. Форма Е у току зиме је значајно повезана са положајем и интензитетом Азорског максимума и НАО индексом, док је С форма значајно повезана са положајем Исландског минимума.

Табела 31. Коефицијенти корелације између покретних декадних вредности географске ширине/дужине, интензитета ваздушног притиска у Атлантским акционим центрима, NAO индекса и циркулационих форми представљених Вангенгајм-Гирс типологијом циркулације атмосфере у периоду 1949–2004.

Форма		**Исландски минимум**			**Азорски максимум**			**NAO индекс**
		ГДИМ	ГШИМ	ИИМ	ГДАМ	ГШАМ	ИАМ	
W	Пролеће	-0.179	0.124	-0.091	-0.402(**)	0.461(**)	0.163	0.227
	Лето	-0.489(**)	-0.920(**)	0.151	-0.510(**)	0.135	-0.519(**)	-0.329(*)
	Јесен	0.246	-0.715(**)	0.059	0.235	-0.520(**)	-0.392(**)	-0.343(*)
	Зима	0.297(*)	0.514(**)	-0.696(**)	-0.828(**)	0.760(**)	0.800(**)	0.890(**)
	Годишње	0.206	-0.376(*)	-0.607(**)	-0.637(**)	0.396(**)	0.229	0.392(**)
E	Пролеће	-0.172	0.328(*)	0.212	0.502(**)	-0.033	0.125	-0.381(**)
	Лето	0.609(**)	0.880(**)	-0.125	0.365(*)	-0.245	0.560(**)	0.331(*)
	Јесен	0.265	-0.111	0.283	-0.501(**)	0.153	0.906(**)	0.254
	Зима	-0.403(**)	-0.239	0.490(**)	0.901(**)	-0.748(**)	-0.650(**)	-0.726(**)
	Годишње	0.155	0.585(**)	0.342(*)	0.498(**)	-0.324(*)	0.091	-0.209
C	Пролеће	0.490(**)	-0.831(**)	-0.281	-0.386(**)	-0.624(**)	-0.606(**)	0.410(**)
	Лето	-0.593(**)	-0.408(**)	0.017	0.099	0.368(*)	-0.401(**)	-0.188
	Јесен	-0.472(**)	0.655(**)	-0.352(*)	0.369(*)	0.222	-0.693(**)	-0.020
	Зима	0.376(*)	-0.544(**)	0.305(*)	-0.469(**)	0.225	-0.123	-0.131
	Годишње	-0.684(**)	-0.606(**)	0.315(*)	0.031	0.012	-0.588(**)	-0.228

На покретном декадном нивоу, коефицијенти корелације расту и код годишњих вредности, W и E форма показују највећу повезаност са положајем Азорског максимума, односно интензитетом и географском ширином Исландског минимума. Померањем на североисток Азорског максимума и Исландског минимума на југ, заједно са опадањем притиска у овом акционом центру, односно јачањем НАО индекса долази до потенцирања W форме, и обрнуто, померањем Азорског максимума на југозапад, Исландског минимума на север и растом притиска у овом акционом центру долази до јачања E форме. Код C форме најснажнија корелација је са положајем и интензитетом притиска у Исландском минимуму (његовим померањем према југоистоку и порастом притиска у њему) и Азорском максимуму (опадањем притиска) долази до јачања меридионалног струјања.

У току зиме W форма показује статистички значајну корелацију са положајем и интензитетом акционих центара (израженија веза са Азорским максимумом) и високу корелацију са НАО индексом (r=0,890). У току лета и јесени, за ову циркулациону форму је најзначајнија географска ширина Исландског минимума, док је током пролећа најјача корелација са положајем Азорског максимума.

У току зиме Е форма показује статистички значајну везу са скоро свим елементима акционих центара (као и код W форме израженија је веза са Азорским максимумом) и високу корелацију са НАО индексом (r=-0,726). У току лета, ова циркулациона форма је најјаче повезана са географском ширином Исландског минимума, а у току јесени са интензитетом притиска у Азорском максимуму. У току пролећних месеци постоји статистички значајна веза ове форме и географске ширине Исландског минимума, географске дужине Азорског максимума и НАО индекса, али су корелације у поређењу са осталим сезонама релативно ниске.

Везе између меридионалне С циркулационе форме и акционих центара су генерално нешто ниже у односу на W и Е форму. Најјача корелација ове форме постоји у току пролећних месеци са географском ширином Исландског минимума и у току јесени са интензитетом притиска у Азорском максимуму. У току летњих и зимских месеци постоје статистички значајне корелације између ове форме и појединих елемената акционих центара (ни у једном случају не прелазе ≈0,6÷).

У разматрању хипотезе да ли постоји статистички значајна разлика температуре ваздуха, односно количине падавина на територији Србије између година у којима доминирају различите циркулационе форме, пошло се од података које дају Dumanskaya & Fedorenko (2008). Анализа варијансе је показала да у зависности од доминантне циркулационе форме постоји статистички значајна разлика између средњих годишњих температура ваздуха у Србији (табеле 32 и 33). На основу резултата ЛСД теста (Least Significant Difference) може се закључити да је при доминацији W циркулационе форме, средња годишња температура значајно виша него у годинама у којима доминирају Е и С циркулационе форме. Са друге стране, средња температура ваздуха при Е форми је виша него при С циркулационој форми, али на нивоу поверења од 95% не постоји статистички значајна разлика (табела 35, графикон 30). Такође, не постоји ни статистички значајна разлика у варијабилитету температура ваздуха при доминацији различитих циркулационих форми (табела 34).

Табела 32. Средње вредности и стандардне девијације температуре ваздуха на територији Србије и број година у којима је доминирала одређена циркулациона форма

Циркулациона форма	**Средња годишња температура у Србији**	**Број година**	**Ст. дев.**
W	11.32	15	0.599
E	10.71	28	0.587
C	10.33	9	0.403
WEC	10.82	52	0.654

Табела 33. Резултати анализе варијансе средње годишње температуре ваздуха у Србији при различитим циркулационим формама

	СКИГ	**df ВарИГ**	**ВарИГ**	**СКУГ**	**df ВарУГ**	**ВарУГ**	**F статистик**	**p ниво**
Средња годишња темпера-тура ваздуха у Србији	6.203	2	3.101	15.628	49	0.318	9.725	0.0002

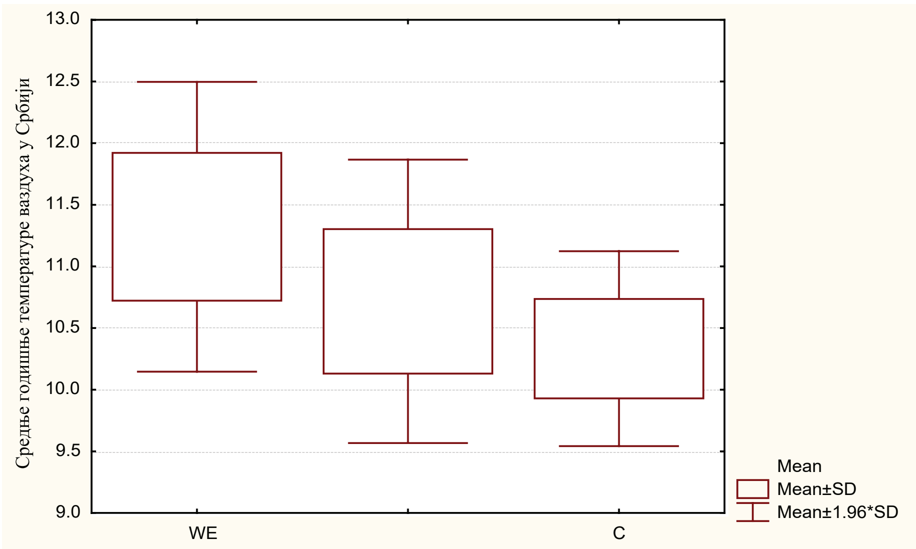
Табела 34. Резултати Левеоновог теста за једнакост варијанси за средње годишње температуре ваздуха при различитим циркулационим формама

	СКИГ	**df ВарИГ**	**ВарИГ**	**СКУГ**	**df ВарУГ**	**ВарУГ**	**F статистик**	**p ниво**
Средња годишња темпера-тура ваздуха у Србији	0.234	2	0.117	6.381	49	0.130	0.901	0.412

Табела 35. Нивои значајности разлике температуре ваздуха при различитим циркулационим формама добијени ЛСД тестом[21]

	W	E	C
W		**0.002**	**0.001**
E	**0.002**		0.082
C	**0.001**	0.082	

[21] Болдирани резултати су статистички значајни на p=0,05



Графикон 30. Средње годишње температуре ваздуха у Србији при различитим циркулационим формама

С обзиром на то да је Левенеов тест (табела 36) показао да не постоји једнакост варијанси код количина падавина при доминацији различитих циркулационих форми, као ни нормална расподела (утврђено на основу графичке инспекције), за тестирање разлика средњих вредности искоришћена је Крускал-Волисова анализа варијансе (Kruskal-Wallis ANOVA). Установљено је да не постоји статистички значајна разлика средњих вредности количине падавина при доминацији различитих циркулационих форми (табела 37).

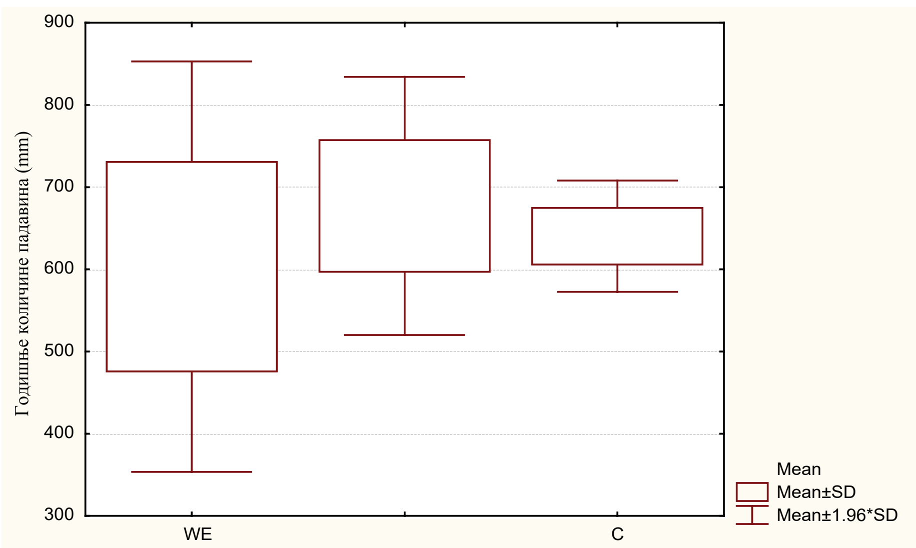
Табела 36. Резултат Левеоновог теста за једнакост варијанси количине падавина при различитим циркулационим формама

	СКИГ	**df ВарИГ**	**ВарИГ**	**СКУГ**	**df ВарУГ**	**ВарУГ**	**F статистик**	**p ниво**
Средња годишња количина падавина у Србији	38084.30	2	19042.15	131890.9	49	2691.651	7.074	0.001

Табела 37. Резултати Крускал-Волисове анализе варијансе

Форма	n	Сума рангова
W	15	310.0
E	28	861.0
C	9	207.0
Вредност H статистика	4,904; p=0,086	

Међутим, на графикону 31 се може уочити да постоје велике разлике у варијабилитету падавина. Тест квадрираних рангова (squared rank test) је показао да статистички значајне разлике (p=0,01) постоје између варијабилитета падавина при W и C, односно E и C циркулационим формама (табела 38).



Графикон 31. Средње годишње количине падавина у Србији при различитим циркулационим формама

Табела 38. Резултати теста квадрираних рангова за количине падавина при различитим циркулационим формама

	Разлика варијабилитета падавина при различитим циркулационим формама		
	W/E	W/C	E/C
Вредност Т статистика	1,469	3,171	2,023

Однос између циркулације атмосфере представљене Вангенгајм-Гирс типологијом и температуре ваздуха, односно количине падавина у Србији је такође испитан корелационом анализом. Да би се „изоловао" утицај сваке од циркулационих форми коришћене су покретне декадне вредности (табела 39).

Табела 39. Матрица корелација између покретних декадних вредности различитих циркулационих форми и температура ваздуха и количина падавина у Србији

	W	**E**	**C**	**Температура ваздуха у Србији**	**Количина падавина у Србији**
W	1.00	-0.888(**)	0.178	0.851(**)	-0.619(**)
E	-0.888(**)	1.00	-0.611(**)	-0.884(**)	0.607(**)
C	0.178	-0.611(**)	1.00	0.426(**)	-0.231
Температура ваздуха у Србији	0.851(**)	-0.884(**)	0.426(**)	1.00	-0.454(**)
Количина падавина у Србији	-0.619(**)	0.607(**)	-0.231	-0.454(**)	1.00

На основу вредности приказаних у табели 39 може се закључити да између зоналне W, односно меридионалне C форме и температуре ваздуха у Србији постоји статистички значајна позитивна корелација (око 72%, односно око 18% промена температуре ваздуха у Србији може се објаснити утицајем ових циркулационих форми), док са E формом постоји статистички значајна негативна корелација (промене у овој форми захватају око 78% варијансе температуре ваздуха у Србији). Статистички значајна (негативна) корелација постоји између W форме и количине падавина у Србији. Око 38% варијансе падавина може се објаснити променама у овој циркулационој форми. Између E форме и количине падавина у Србији постоји статистички значајна позитивна корелација (са око 37% објашњеног варијабилитета падавина), док C форма не показује значајну повезаност са падавинама у Србији. Важно је напоменути да између W и E циркулационе форме постоји снажна негативна корелација.

Да би се стекле информације о укупном утицају различитих циркулационих форми на температуре ваздуха и падавине у Србији, искоришћена је вишеструка линеарна регресија. Када се као предиктори користе Вангенгајм-Гирс циркулационе форме, код количина падавина у Србији нема значајног повећања захваћености варијансе у односу на просте линеарне корелације. Иако се применом анализе варијансе на сваки од модела из табеле 40 добија вредност F статистика од 9,43-14,267 ($p=0,01$), статистички значајан допринос објашњењу промена количине падавина у Србији показују само W и E циркулациона форма (и то само када су укључене у модел у комбинацији са C циркулационом формом). Иако засебно и W и E циркулациона форма показују висок и статистички значајан степен корелације са количином падавина у Србији, када су обе укључене у модел, због високе редундансе појединачно не доприносе значајно повећању захваћености варијансе падавина у Србији.

Када се као зависна варијабла посматра температура ваздуха у Србији (табела 41), у односу на линеарне корелације, постоји повећање захваћености варијансе од око 7% ако се у модел истовремено укључе W и C циркулациона форма. Са друге стране, ако се кроз модел форми E додају W или C циркулациона форма, прилагођени коефицијент детерминације је за свега око 1% већи него када се посматра засебна веза између E форме и температуре ваздуха у Србији. Упркос веома високој вредности F статистика од 57,274 и p знатно мање од 0,01 укључивање све три циркулационе форме у модел није оправдано, јер у том случају не постоји статистичка значајност регресионих коефицијента ни код једне од њих. Слични су налази Savić et al. (2015) који су коришћењем нелинеарних модела добили добру везу између ових циркулационих форми и екстремних температура ваздуха у Војводини.

Табела 40. Резултати линеарне регресије за покретне декадне вредности Вангенгајм-Гирс циркулационих форми и количина падавина у Србији

Предиктори	F статистик	t статистик/p ниво	R^2 (%)	Прилагођено R^2 (%)
E, C	14.259 (p=0.001)	E (t= 4.969, p= 0.001) C (t= 1.485, p= 0.144)	39.875	37.079
W, E	14.264 (p=0.001)	W (t= -1.487, p= 0.144) E (t= 1.039, p= 0.304)	39.884	37.088
W, C	14.267 (p=0.001)	W (t= -4.970, p= 0.001) C (t= -1.041, p= 0.303)	39.889	37.093
W, E, C	9.433 (p=0.001)	W (t= -0.517, p= 0. 0.607) E (t= -0.508, p= 0.613) C (t= -0.511, p= 0. 0.611)	40.256	35.989

Табела 41. Резултати линеарне регресије за покретне декадне вредности Вангенгајм-Гирс циркулационих форми и температура ваздуха у Србији

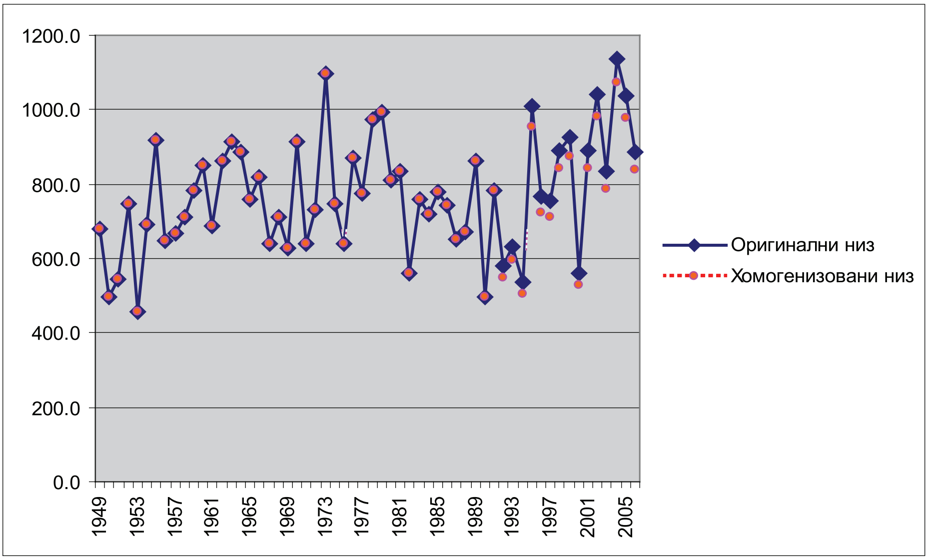
Предиктори	F статистик	t статистик/p ниво	R^2 (%)	Прилагођено R^2 (%)
E, C	87.494 (p=0.001)	E (t= -11.638, p= 0.001) C (t= -2.129, p= 0.0389)	80.274	79.356
W, E	87.475 (p=0.001)	W (t= 2.127, p= 0.039) E (t= -4.117, p= 0.001)	80.270	79.353
W, C	87.446 (p=0.001)	W (t= 11.635, p= 0.001) C (t= 4.115, p= 0.001)	80.265	79.347
W, E, C	57.274 (p=0.001)	W (t= -0.422, p= 0.674) E (t= -0.444, p= 0.659) C (t= -0.431, p= 0.668)	80.357	78.954

Колебање климе у Србији

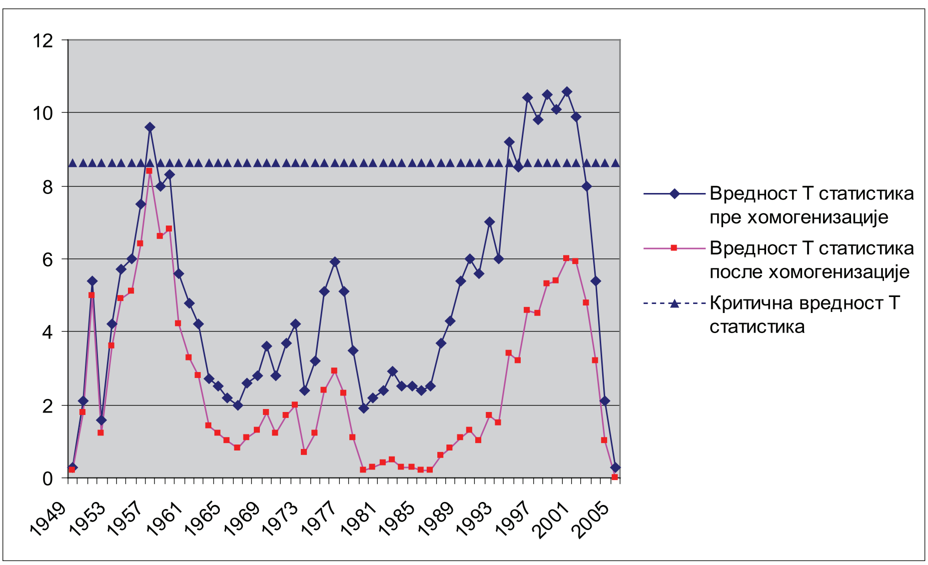
У овом одељку текста смо покушали да одговоримо на питање: *Какав је просторни аспект колебања климе у Србији?*

За анализу промена температуре ваздуха и количине падавина коришћени су подаци са 23 метеоролошке станице у Србији у периоду 1949–2008. године. С обзиром на то да је исцрпан опис података и резултата анализе средњих годишњих температура ваздуха дат у Миловановић (2015), у овом поглављу акценат ће бити стављен на просторну расподелу трендова сезонских температура ваздуха и сезонских и годишњих количина падавина.

Анализа хомогености низова падавина (графикон 32) показала је да на станици Призрен постоје нехомогености, те је извршено подешавање серије (вредности после појаве нехомогености помножене корекционим фактором 0,944).



Графикон 32. Оригинални и хомогенизовани низ падавина на станици Призрен



Графикон 33. Вредности T статистика пре и после хомогенизације низа падавина за Призрен

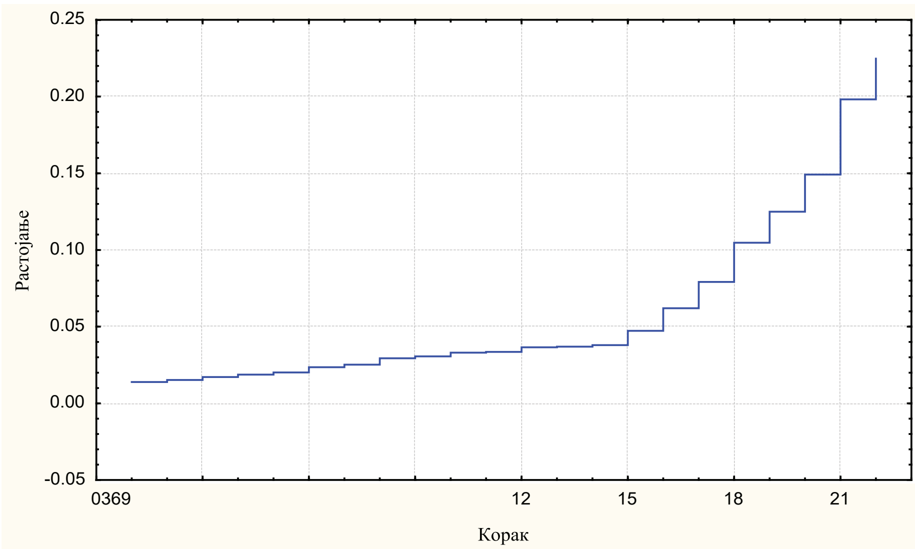
Коришћењем хијерархијске кластерске анализе издвојене су засебне просторне целине. У табелама 42 и 43 и на графиконима 35 и 37 је приказано груписање станица у Србији када се посматрају температуре ваздуха и количине падавина.

Табела 42. Припадност кластерима станица у Србији према температури ваздуха (Миловановић 2015)

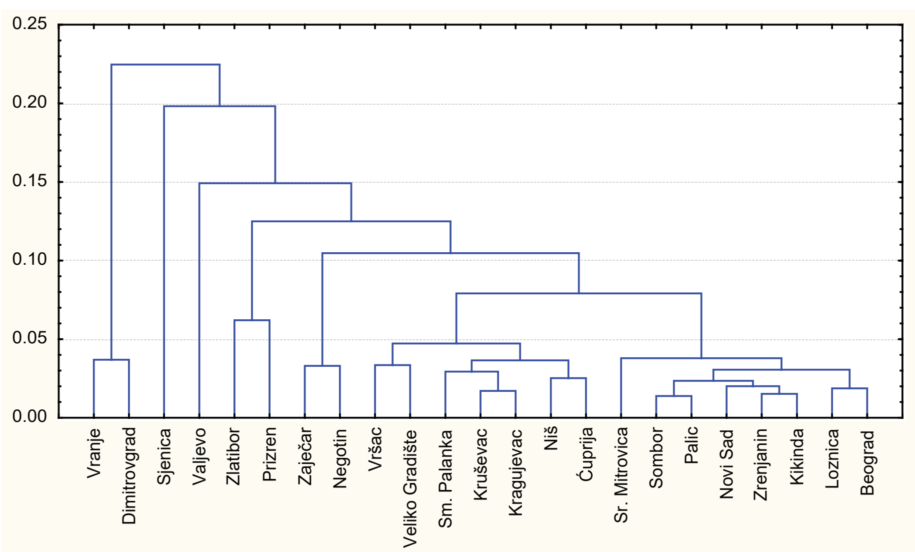
	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5
Станица	Београд	Ћуприја	Неготин	Златибор	Димитровград
	Лозница	Ниш	Зајечар	Призрен	Врање
	Кикинда	Крагујевац			
	Зрењанин	Крушевац			
	Нови Сад	Смедеревска Паланка			
	Палић	Велико Градиште			
	Сомбор	Вршац			
	Сремска Митровица				

Табела 43. Припадност кластерима станица у Србији (падавине)

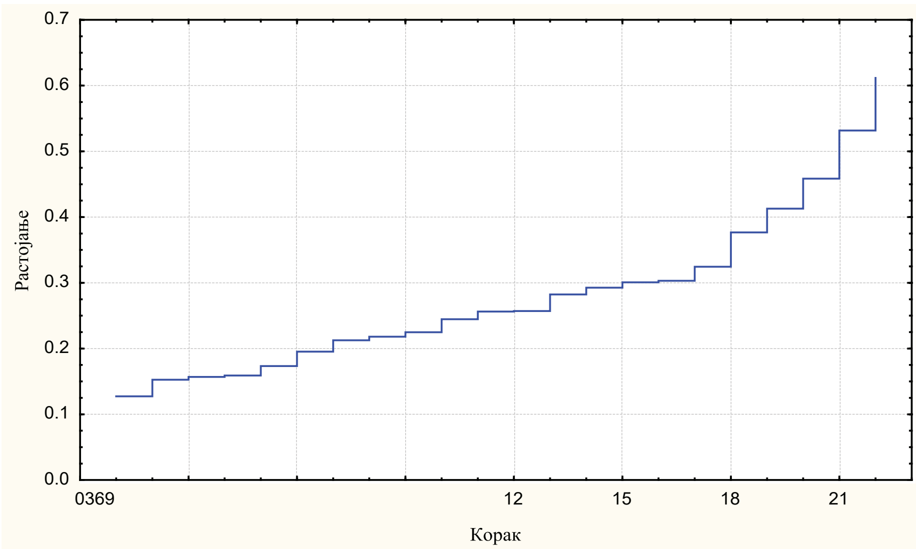
	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5	Кластер 6
Станица	Београд	Ћуприја	Нови Сад	Златибор	Димитровград	Зајечар
	Кикинда	Крагујевац	Палић	Сјеница	Врање	Неготин
	Зрењанин	Крушевац	Сомбор		Ниш	
	Велико Градиште	Смедеревска Паланка	Сремска Митровица			
	Вршац	Ваљево	Лозница			



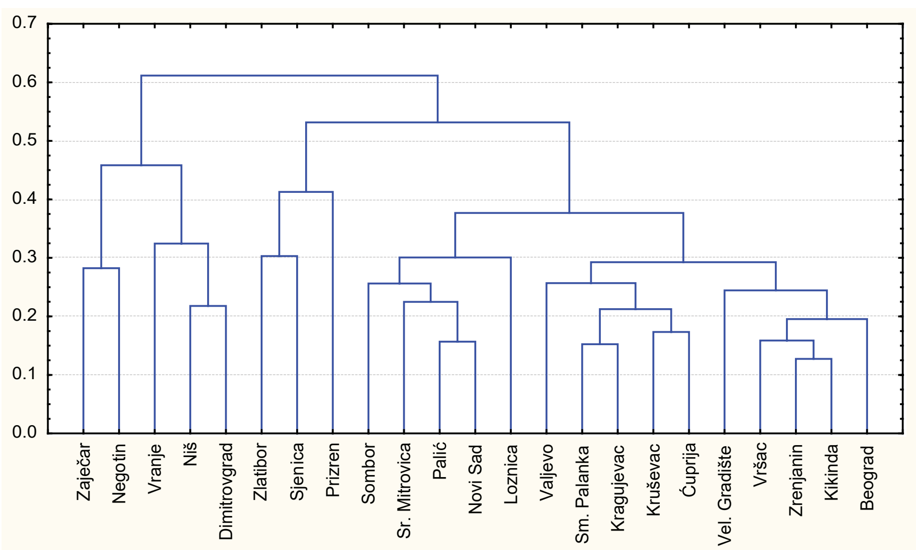
Графикон 34. Дијаграм растојања током сваког од корака кластерске анализе (Миловановић, 2015)



Графикон 35. Дендрограм станица у Србији за температуру ваздуха (Миловановић, 2015)



Графикон 36. Дијаграм растојања током сваког од корака кластерске анализе



Графикон 37. Дендрограм станица у Србији за падавине

Према Миловановић (2015) када се посматра температура ваздуха, добијено је пет кластера, док станице Сјеница и Ваљево представљају засебне варијабле. Највећи је кластер 1 који захвата скоро читаву Војводину (изузев југоисточног Баната, односно станице Вршац) и северозападни део централне Србије. Кластер 2 захвата простор југоисточног Баната на северу, западне обронке Карпато-балканских планина, део јужног Поморавља, Шумадију и Велико Поморавље. Кластер 3 чине долина Великог Тимока и Неготинска крајина. Кластер 4 захвата западну и југозападну Србију (са Метохијом), док кластер 5 чине крајњи југ и југоисток Србије.

Када се посматрају падавине, пресецањем на хијерархијском нивоу 0,33 може се издвојити 6 кластера, при чему станица Призрен представља засебну варијаблу. Кластер 1 који захвата читав Банат чине још и станице Београд и велико Градиште. Кластер 2 чини Велико Поморавље са Шумадијом и северозападном Србијом. Кластер 3 чине Бачка и Срем са Подрињем и Посавином. У кластеру 4 се налазе западна и југозападна Србија (са Метохијом), док јужна и југоисточна Србија (јужно Поморавље и Понишавље) чине кластер 5. Кластер 6 чини долина Великог Тимока и Неготинска крајина.

За тестирање трендова температуре ваздуха и количине падавина и у оквиру сваког кластера и на свакој станици понаособ искоришћен је Ман-Кендалов тест, док је за оцену нагиба тренда одабран Сенов приступ.

Табела 44: Резултати анализе тренда по кластерима средњих годишњих количина падавина у Србији

Кластер	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда mm/год**
Кластер 1	1949-2008	0.032		0.048
Кластер 2	1949-2008	0.453		0.548
Кластер 3	1949-2008	1.448		1.164
Кластер 4	1949-2008	3.374	***	3.268
Кластер 5	1949-2008	0.102		0.111
Кластер 6	1949-2008	-1.499		-1.413

Када се посматра средња годишња количина падавина по кластерима, на основу вредности приказаних у табели 44, може се закључити да је у кластерима 1, 2 и 5 дошло до незнатног повећања количине падавина у посматраном периоду. Пораст је нешто већи у кластеру 3 и највећи (статистички значајан) у кластеру 4. У кластеру 6 је присутно знатно смањење количине падавина.

Пошто су Дуцић, Луковић & Миловановић (2008), анализирајући трендове температуре ваздуха и количине падавина у Србији у периоду 1949–2006, користили истоветну методологију, у раду ће бити дат и осврт на резултате поменутих аутора.

Табела 45. Резултати анализе тренда средњих годишњих температура ваздуха у Србији (према Миловановић, 2015)

Станица	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда °C/год**
Београд	1949-2008	2.781	**	0.017
Ћуприја	1949-2008	0.651		0.004
Димитровград	1949-2008	-0.663		-0.003
Кикинда	1949-2008	2.130	*	0.012
Крагујевац	1949-2008	2.086	*	0.012
Крушевац	1949-2008	1.684		0.008
Лозница	1949-2008	2.794	**	0.017
Неготин	1949-2008	3.087	**	0.019
Ниш	1949-2008	1.244		0.007
Нови Сад	1949-2008	2.201	*	0.012
Палић	1949-2008	2.443	*	0.016
Призрен	1949-2008	2.341	*	0.013
Сјеница	1949-2008	2.679	**	0.015
Смед. Паланка	1949-2008	1.741		0.010
Сомбор	1949-2008	2.118	*	0.013
Ваљево	1949-2008	2.252	*	0.014
Велико Градиште	1949-2008	0.293		0.002
Врање	1949-2008	0.166		0.001
Зајечар	1949-2008	2.411	*	0.015
Златибор	1949-2008	2.571	*	0.013
Зрењанин	1949-2008	2.124	*	0.012
Вршац	1949-2008	1.135		0.007
Сремска Митровица	1949-2008	1.569		0.009

Миловановић (2015) наводи да је у периоду од 1949-2008. године на 22 станице дошло до пораста средње годишње температуре. Изузетак представља Димитровград где је дошло до смањења температуре ваздуха што је према Ducić, Milovanović & Đurđić (2011) пре свега последица смањења температура ваздуха у јесењим месецима. На 14 станица постоји статистички значајна промена (на нивоима значајности од 0,01-0,05). Највећи пораст средње годишње температуре ваздуха уочава се у Метохији, југозападној, западној и северозападној Србији, средњем и северном Банату, Бачкој, Београду и Неготинској крајини (карта 4). У односу на период 1949–2006. позитивном променом температуре ваздуха је захваћена знатно већа територија Србије.

Табела 46. Резултати анализе тренда средњих пролећних температура ваздуха у Србији

Станица	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда °C/год**
Београд	1949-2008	3.075	**	0.029
Ћуприја	1949-2008	1.276		0.011
Димитровград	1949-2008	1.040		0.010
Кикинда	1949-2008	2.399	*	0.022
Крагујевац	1949-2008	2.438	*	0.020
Крушевац	1949-2008	2.513	*	0.022
Лозница	1949-2008	2.960	**	0.025
Неготин	1949-2008	3.413	***	0.032
Ниш	1949-2008	1.806		0.018
Нови Сад	1949-2008	2.692	**	0.024
Палић	1949-2008	2.693	**	0.024
Призрен	1949-2008	2.545	*	0.023
Сјеница	1949-2008	2.054	*	0.017
Смед. Паланка	1949-2008	2.093	*	0.019
Сомбор	1949-2008	2.182	*	0.021
Ваљево	1949-2008	2.814	**	0.022
Велико Градиште	1949-2008	1.582		0.014
Врање	1949-2008	1.754		0.014
Зајечар	1949-2008	2.858	**	0.026
Златибор	1949-2008	2.635	**	0.025
Зрењанин	1949-2008	2.775	**	0.024
Вршац	1949-2008	2.245	*	0.019
Сремска Митровица	1949-2008	2.412	*	0.021

У погледу пролећних температура ваздуха, на територији читаве Србије је дошло до позитивне промене (карта 5). На 18 станица се бележи статистички значајан пораст температуре ваздуха. За разлику од периода 1949–2006. година, станице Смедеревска Паланка и Сјеница такође бележе статистички значајан пораст температуре ваздуха (табела 46).

Табела 47. Резултати анализе тренда средњих летњих температура ваздуха у Србији

Станица	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда °C/год**
Београд	1949-2008	2.207	*	0.023
Ћуприја	1949-2008	1.014		0.010
Димитровград	1949-2008	0.370		0.004
Кикинда	1949-2008	2.163	*	0.019
Крагујевац	1949-2008	2.239	*	0.023
Крушевац	1949-2008	1.812		0.017
Лозница	1949-2008	3.331	***	0.025
Неготин	1949-2008	2.501	*	0.026
Ниш	1949-2008	1.314		0.015
Нови Сад	1949-2008	1.576		0.010
Палић	1949-2008	2.967	**	0.026
Призрен	1949-2008	2.514	*	0.023
Сјеница	1949-2008	2.527	*	0.020
Смед. Паланка	1949-2008	1.704		0.017
Сомбор	1949-2008	2.718	**	0.020
Ваљево	1949-2008	2.705	**	0.022
Велико Градиште	1949-2008	0.982		0.009
Врање	1949-2008	1.213		0.012
Зајечар	1949-2008	2.373	*	0.021
Златибор	1949-2008	2.277	*	0.024
Зрењанин	1949-2008	1.544		0.013
Вршац	1949-2008	1.684		0.016
Сремска Митровица	1949-2008	1.755		0.012

Као и код пролећних температура, на свим станицама је забележен пораст средње летње температуре ваздуха (табела 47). Највећи пораст је забележен у северном делу Војводине, Београду, северозападној, западној и југозападној Србији и Неготинској крајини (карта 6) што би се према Malinovic-Milicevic et al. (2016) могло објаснити порастом трајања екстремно топлих епизода у овој сезони. За разлику од периода 1949–2006, станице Кикинда и Крагујевац бележе статистички значајан пораст у периоду 1949–2008. године.

Табела 48. Резултати анализе тренда средњих јесењих температура ваздуха у Србији

Станица	Период	Тест статистик	Значајност	Нагиб тренда °C/год
Београд	1949-2008	-0.281		-0.002
Ћуприја	1949-2008	-1.582		-0.016
Димитровград	1949-2008	-2.118	*	-0.019
Кикинда	1949-2008	-0.581		-0.005
Крагујевац	1949-2008	-0.600		-0.005
Крушевац	1949-2008	-0.982		-0.009
Лозница	1949-2008	0.249		0.002
Неготин	1949-2008	-0.204		-0.002
Ниш	1949-2008	-1.033		-0.010
Нови Сад	1949-2008	-0.638		-0.004
Палић	1949-2008	-0.262		-0.002
Призрен	1949-2008	-0.147		-0.002
Сјеница	1949-2008	-0.670		-0.006
Смед. Паланка	1949-2008	-1.142		-0.010
Сомбор	1949-2008	-0.740		-0.006
Ваљево	1949-2008	-0.351		-0.003
Велико Градиште	1949-2008	-1.620		-0.014
Врање	1949-2008	-1.831		-0.015
Зајечар	1949-2008	-1.187		-0.009
Златибор	1949-2008	-0.715		-0.006
Зрењанин	1949-2008	-0.753		-0.006
Вршац	1949-2008	-0.721		-0.007
Сремска Митровица	1949-2008	-0.249		-0.003

На 22 станице у току јесени постоји негативан тренд температуре ваздуха (табела 48). Изузетак представља Лозница. У броју станица које бележе статистички значајну промену средњих јесењих температура ваздуха нема промена у односу на период 1949–2006. година. Највећи пад је у југоисточној Србији (станице Димитровград и Врање) и у делу Поморавља – станица Ћуприја (карта 7).

Табела 49. Резултати анализе тренда средњих зимских температура ваздуха у Србији

Станица	Период	Тест статистик	Значајност	Нагиб тренда °C/год
Београд	1949-2008	0.576		0.008
Ћуприја	1949-2008	-0.301		-0.005
Димитровград	1949-2008	-0.621		-0.007
Кикинда	1949-2008	0.759		0.012
Крагујевац	1949-2008	0.235		0.003
Крушевац	1949-2008	0.085		0.001
Лозница	1949-2008	0.556		0.010
Неготин	1949-2008	1.557		0.018
Ниш	1949-2008	0.026		0.000
Нови Сад	1949-2008	0.955		0.013
Палић	1949-2008	0.504		0.009
Призрен	1949-2008	0.425		0.006
Сјеница	1949-2008	1.288		0.018
Смед. Паланка	1949-2008	0.196		0.003
Сомбор	1949-2008	0.857		0.010
Ваљево	1949-2008	0.209		0.003
Велико Градиште	1949-2008	-0.085		-0.001
Врање	1949-2008	-0.190		-0.002
Зајечар	1949-2008	0.804		0.007
Златибор	1949-2008	0.961		0.012
Зрењанин	1949-2008	0.981		0.014
Вршац	1949-2008	0.026		0.000
Сремска Митровица	1949-2008	0.307		0.004

У погледу зимских температура ваздуха на 18 станица је забележен пораст, док је на станицама Димитровград, Врање, Велико Градиште и Ћуприја дошло до пада (табела 49). Као и у периоду 1949–2006. година ни на једној станици није забележена статистички значајна промена. Највећи пораст је забележен у западној и југозападној Србији, делу Војводине и Неготинској крајини (карта 8).

Табела 50. Резултати анализе тренда средњих годишњих количина падавина у Србији

Станица	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда mm/год**
Београд	1949-2008	-0.038		-0.027
Ћуприја	1949-2008	0.810		0.643
Димитровград	1949-2008	0.415		0.337
Кикинда	1949-2008	-0.274		-0.251
Крагујевац	1949-2008	0.198		0.186
Крушевац	1949-2008	0.549		0.623
Лозница	1949-2008	2.277	*	2.302
Неготин	1949-2008	-2.086	*	-1.695
Ниш	1949-2008	0.555		0.474
Нови Сад	1949-2008	0.969		1.153
Палић	1949-2008	1.748		1.509
Призрен	1949-2008	1.830		2.192
Сјеница	1949-2008	2.468	*	2.641
Смед. Паланка	1949-2008	0.976		0.865
Сомбор	1949-2008	1.078		0.939
Ваљево	1949-2008	0.261		0.254
Велико Градиште	1949-2008	-0.249		-0.343
Врање	1949-2008	-1.225		-1.050
Зајечар	1949-2008	-0.918		-0.846
Златибор	1949-2008	3.221	**	3.688
Зрењанин	1949-2008	-0.128		-0.138
Вршац	1949-2008	-0.523		-0.662
Сремска Митровица	1949-2008	0.038		0.043

На основу резултата из табеле 50 и карте 9 може се закључити да је у периоду од 1949–2008. године на 3 станице у западној, југозападној и северозападној Србији дошло до статистички значајног пораста средње годишње количине падавина, док је у Неготину дошло до статистички значајног смањења количине падавина. Резултати су истоветни као за период 1949–2006. година.

Табела 51. Резултати анализе тренда средњих пролећних количина падавина у Србији

Станица	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда mm/год**
Београд	1949-2008	-0.836		-0.392
Ћуприја	1949-2008	0.198		0.077
Димитровград	1949-2008	-1.021		-0.331
Кикинда	1949-2008	-0.077		-0.027
Крагујевац	1949-2008	-0.995		-0.366
Крушевац	1949-2008	-0.893		-0.453
Лозница	1949-2008	0.261		0.152
Неготин	1949-2008	-2.819	**	-1.064
Ниш	1949-2008	0.816		0.340
Нови Сад	1949-2008	0.140		0.047
Палић	1949-2008	0.765		0.254
Призрен	1949-2008	1.792		0.908
Сјеница	1949-2008	1.524		0.569
Смед. Паланка	1949-2008	-0.523		-0.228
Сомбор	1949-2008	0.000		0.002
Ваљево	1949-2008	-0.587		-0.229
Велико Градиште	1949-2008	-1.046		-0.427
Врање	1949-2008	-0.466		-0.215
Зајечар	1949-2008	-1.811		-0.742
Златибор	1949-2008	1.276		0.571
Зрењанин	1949-2008	-1.027		-0.429
Вршац	1949-2008	0.019		0.009
Сремска Митровица	1949-2008	-0.970		-0.296

У погледу пролећних сума падавина (табела 51, карта 10), 10 станица бележи позитиван тренд, док је на 13 забележено смањење количине падавина (од чега само у Неготину постоји статистички значајан пад). Резултати су истоветни као за период 1949–2006. година.

Табела 52. Резултати анализе тренда средњих летњих количина падавина у Србији

Станица	Период	Тест статистик	Значајност	Нагиб тренда mm/год
Београд	1949-2008	0.249		0.145
Ћуприја	1949-2008	-0.115		-0.076
Димитровград	1949-2008	0.115		0.114
Кикинда	1949-2008	0.045		0.026
Крагујевац	1949-2008	0.274		0.184
Крушевац	1949-2008	-0.313		-0.246
Лозница	1949-2008	0.549		0.269
Неготин	1949-2008	0.651		0.444
Ниш	1949-2008	0.478		0.197
Нови Сад	1949-2008	0.880		0.475
Палић	1949-2008	1.397		0.782
Призрен	1949-2008	1.448		0.732
Сјеница	1949-2008	1.378		0.758
Смед. Паланка	1949-2008	0.332		0.125
Сомбор	1949-2008	1.256		0.717
Ваљево	1949-2008	0.497		0.357
Велико Градиште	1949-2008	0.223		0.141
Врање	1949-2008	-0.089		-0.043
Зајечар	1949-2008	0.306		0.156
Златибор	1949-2008	0.925		0.590
Зрењанин	1949-2008	-0.332		-0.208
Вршац	1949-2008	-0.491		-0.294
Сремска Митровица	1949-2008	0.606		0.348

У погледу летњих падавина само неколико станица у Банату и централној Србији бележи негативан тренд (табела 52). На свим осталим станицама је дошло до благог пораста летње количине падавина, али без статистичке значајности (карта 11). Резултати су истоветни као и за период 1949–2006. година.

Табела 53. Резултати анализе тренда средњих јесењих количина падавина у Србији

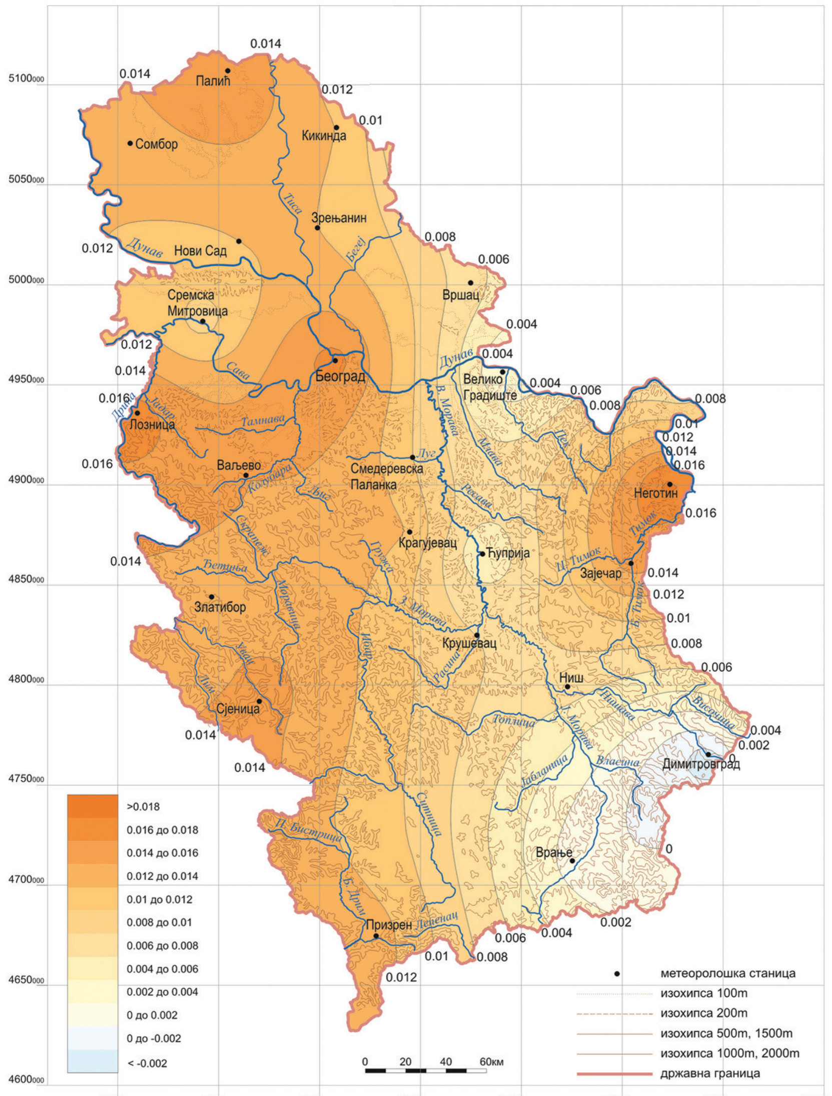
Станица	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда mm/год**
Београд	1949-2008	1.295		0.632
Ћуприја	1949-2008	1.282		0.622
Димитровград	1949-2008	0.957		0.438
Кикинда	1949-2008	1.352		0.531
Крагујевац	1949-2008	1.435		0.574
Крушевац	1949-2008	0.970		0.456
Лозница	1949-2008	1.901		1.112
Неготин	1949-2008	-1.212		-0.736
Ниш	1949-2008	-0.351		-0.194
Нови Сад	1949-2008	2.354	*	1.331
Палић	1949-2008	1.193		0.460
Призрен	1949-2008	1.346		0.812
Сјеница	1949-2008	1.735		1.014
Смед. Паланка	1949-2008	1.639		0.811
Сомбор	1949-2008	1.492		0.828
Ваљево	1949-2008	1.078		0.586
Велико Градиште	1949-2008	0.708		0.417
Врање	1949-2008	-1.014		-0.530
Зајечар	1949-2008	-0.529		-0.197
Златибор	1949-2008	1.824		1.186
Зрењанин	1949-2008	1.371		0.679
Вршац	1949-2008	1.314		0.582
Сремска Митровица	1949-2008	2.162	*	0.971

У погледу јесењих сума падавина, само станице Врање, Ниш, Неготин и Зајечар бележе негативан тренд (табела 53). На свим осталим станицама постоји позитиван тренд, док станице Нови Сад и Сремска Митровица имају статистички значајан пораст. Велики пораст бележе и станице у југозападној, западној и северозападној Србији (карта 12). У периоду 1949–2006. година само је станица Нови Сад забележила стаистички значајан пораст количине падавина, али на нижем нивоу значајности (p=0,1).

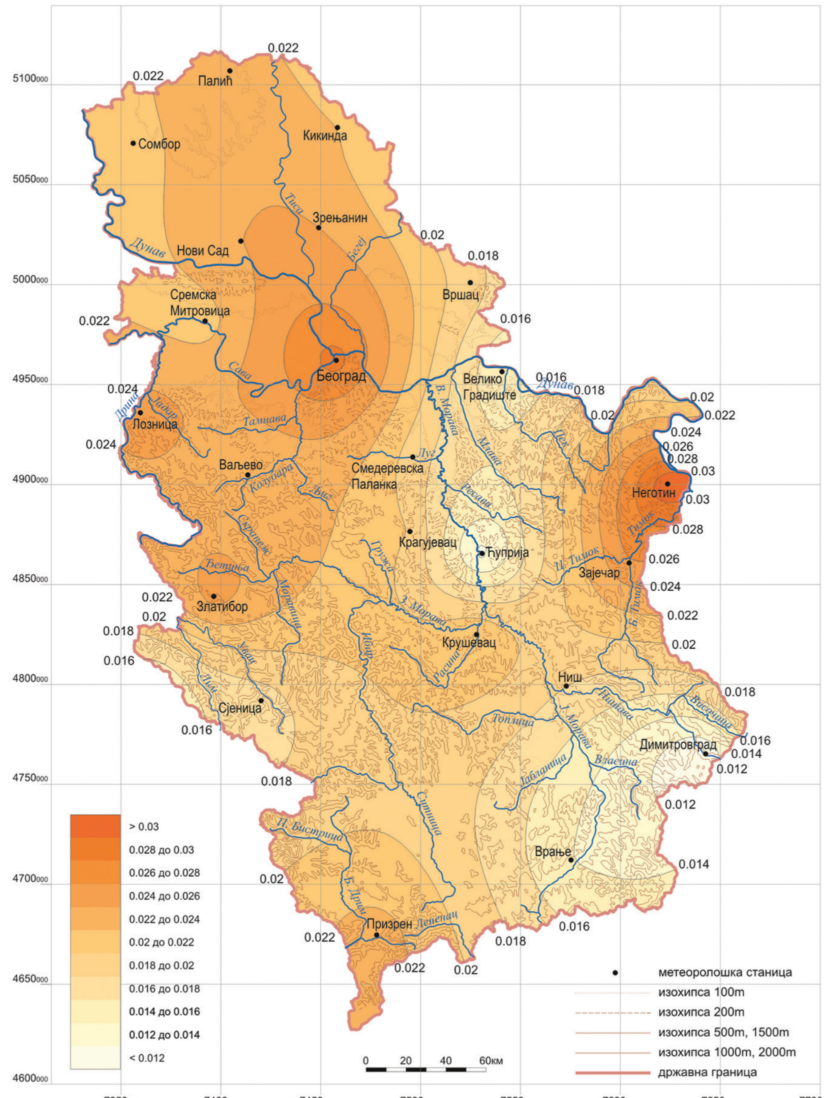
Табела 54. Резултати анализе тренда средњих зимских количина падавина у Србији

Станица	**Период**	**Тест статистик**	**Значајност**	**Нагиб тренда mm/год**
Београд	1949-2008	-0.438		-0.200
Ћуприја	1949-2008	0.445		0.133
Димитровград	1949-2008	-0.504		-0.186
Кикинда	1949-2008	-1.936		-0.708
Крагујевац	1949-2008	-0.661		-0.208
Крушевац	1949-2008	-0.334		-0.146
Лозница	1949-2008	0.549		0.217
Неготин	1949-2008	-1.700		-0.897
Ниш	1949-2008	-0.850		-0.305
Нови Сад	1949-2008	-1.413		-0.619
Палић	1949-2008	-0.824		-0.233
Призрен	1949-2008	0.798		0.541
Сјеница	1949-2008	0.732		0.367
Смед. Паланка	1949-2008	0.059		0.020
Сомбор	1949-2008	-1.386		-0.438
Ваљево	1949-2008	-0.837		-0.235
Велико Градиште	1949-2008	-1.530		-0.637
Врање	1949-2008	-1.726		-0.504
Зајечар	1949-2008	-1.393		-0.555
Златибор	1949-2008	2.191	*	1.007
Зрењанин	1949-2008	-1.759		-0.605
Вршац	1949-2008	-1.040		-0.394
Сремска Митровица	1949-2008	-2.616	**	-0.986

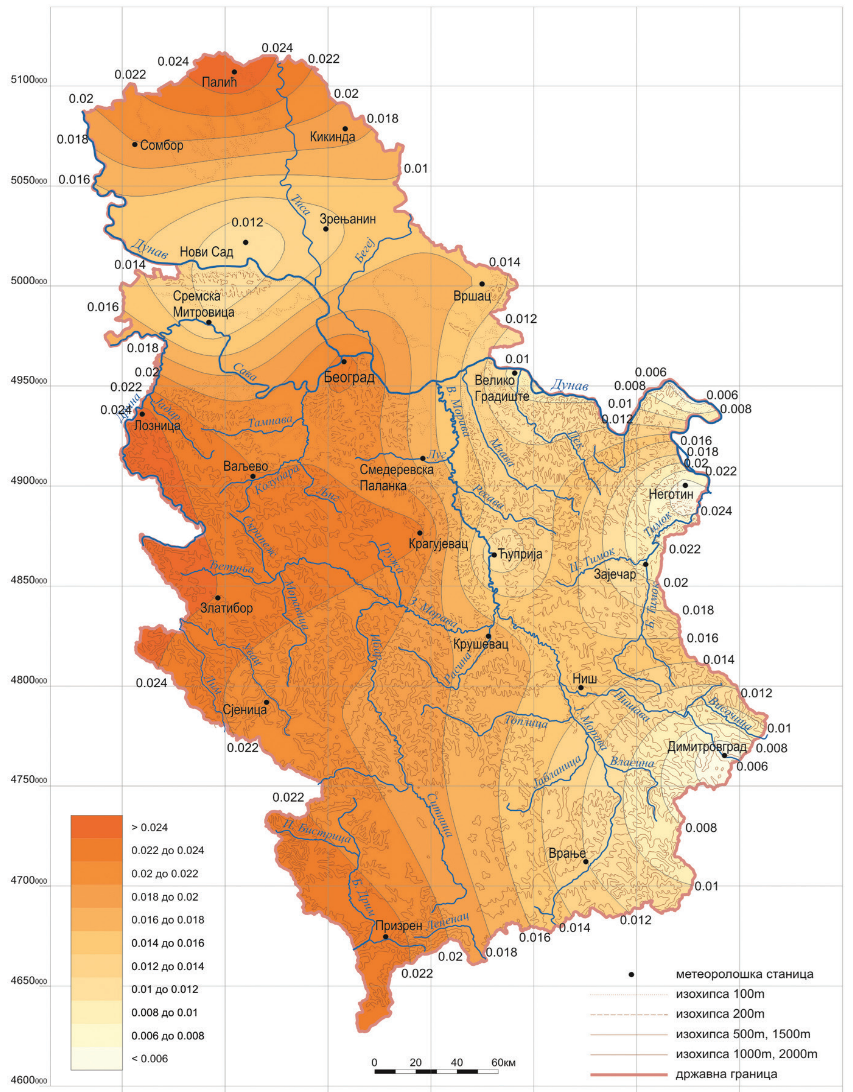
Према резултатима приказаним у табели 54, на 17 станица је дошло до смањења зимске количине падавина, при чему станица Сремска Митровица показује статистички значајан пад. До пораста количине падавина је дошло на 6 станица (само Златибор показује статистички значајно повећање). Највећи пораст зимске количине падавина показују станице у југозападној, западној и северозападној Србији (карта 13). Резултати су истоветни као за период 1949–2006. година.



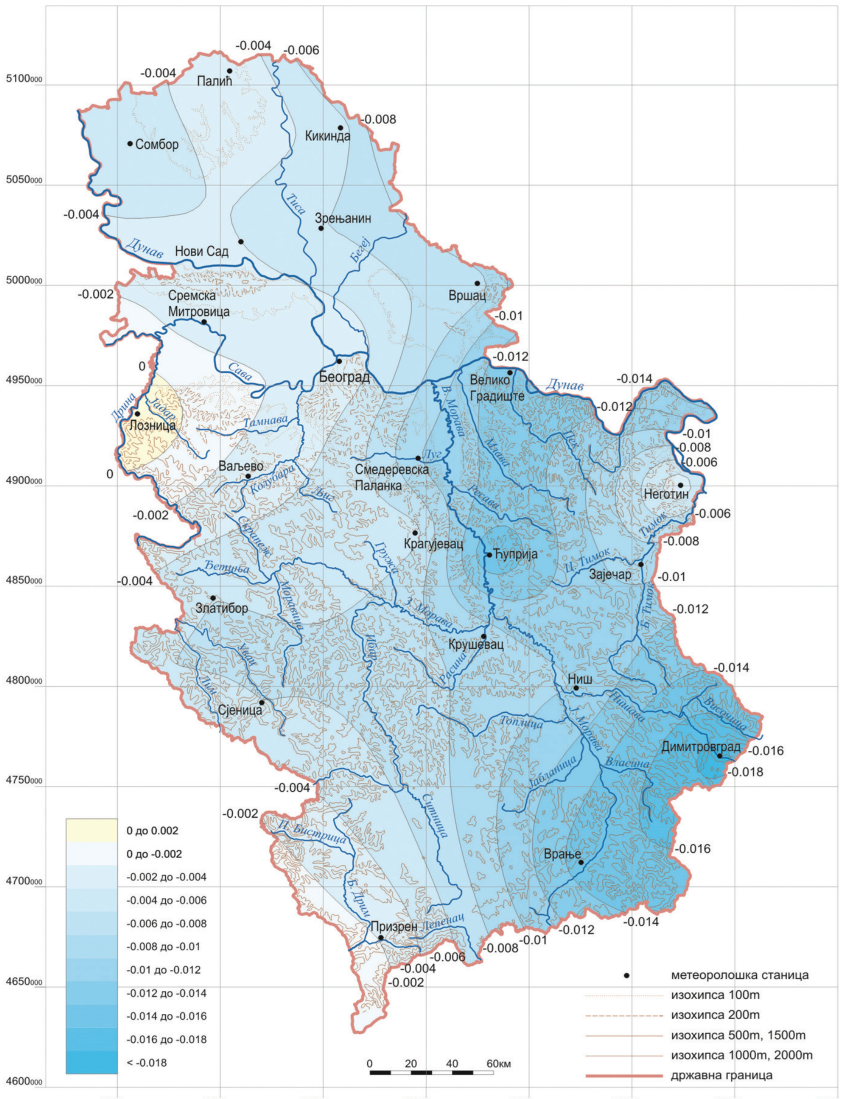
Карта 4. Промене средњих годишњих температура ваздуха (ºC/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



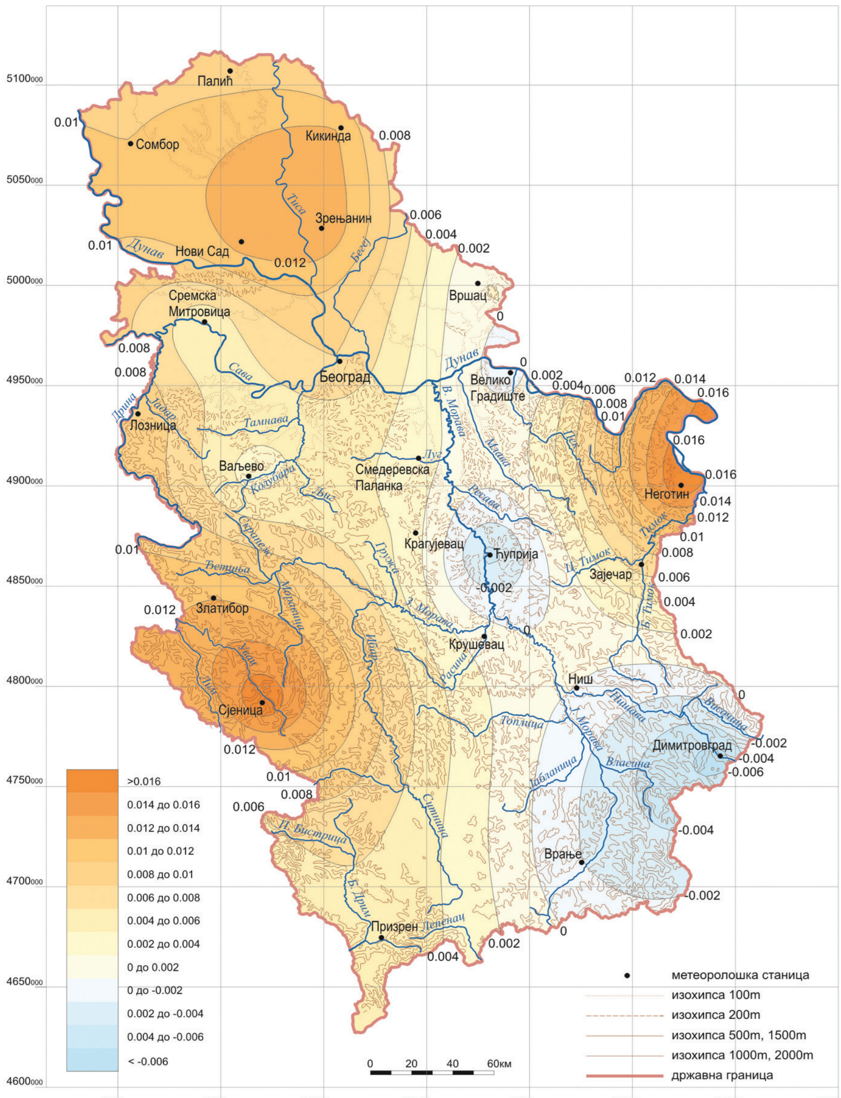
Карта 5. Промене средњих пролећних температура ваздуха (ºC/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



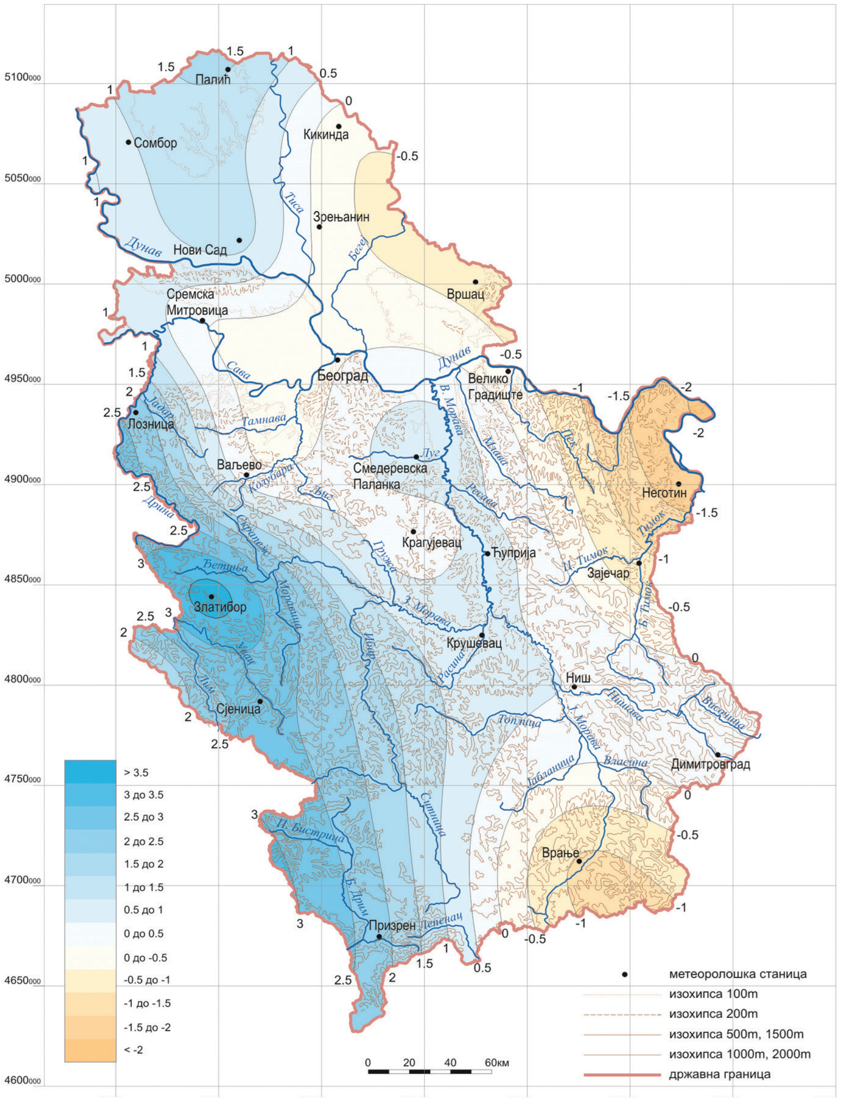
Карта 6. Промене средњих летњих температура ваздуха (ºC/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



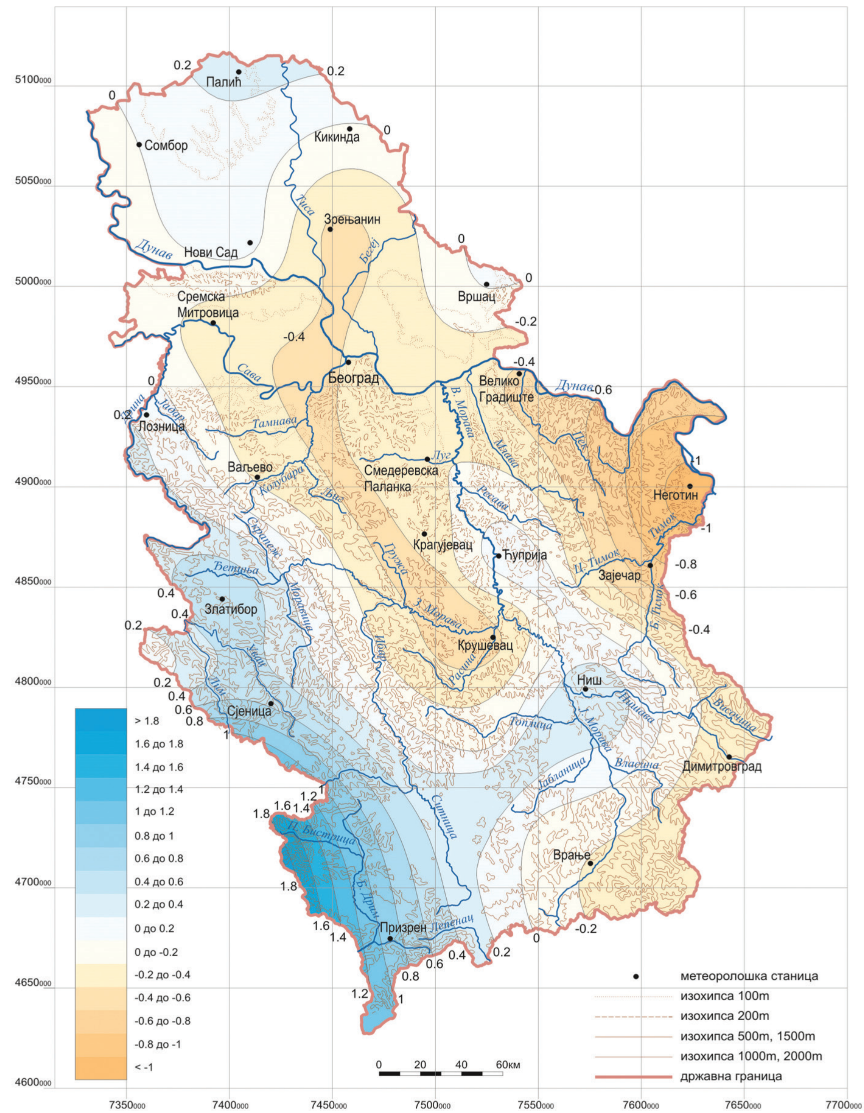
Карта 7. Промене средњих јесењих температура ваздуха (ºC/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



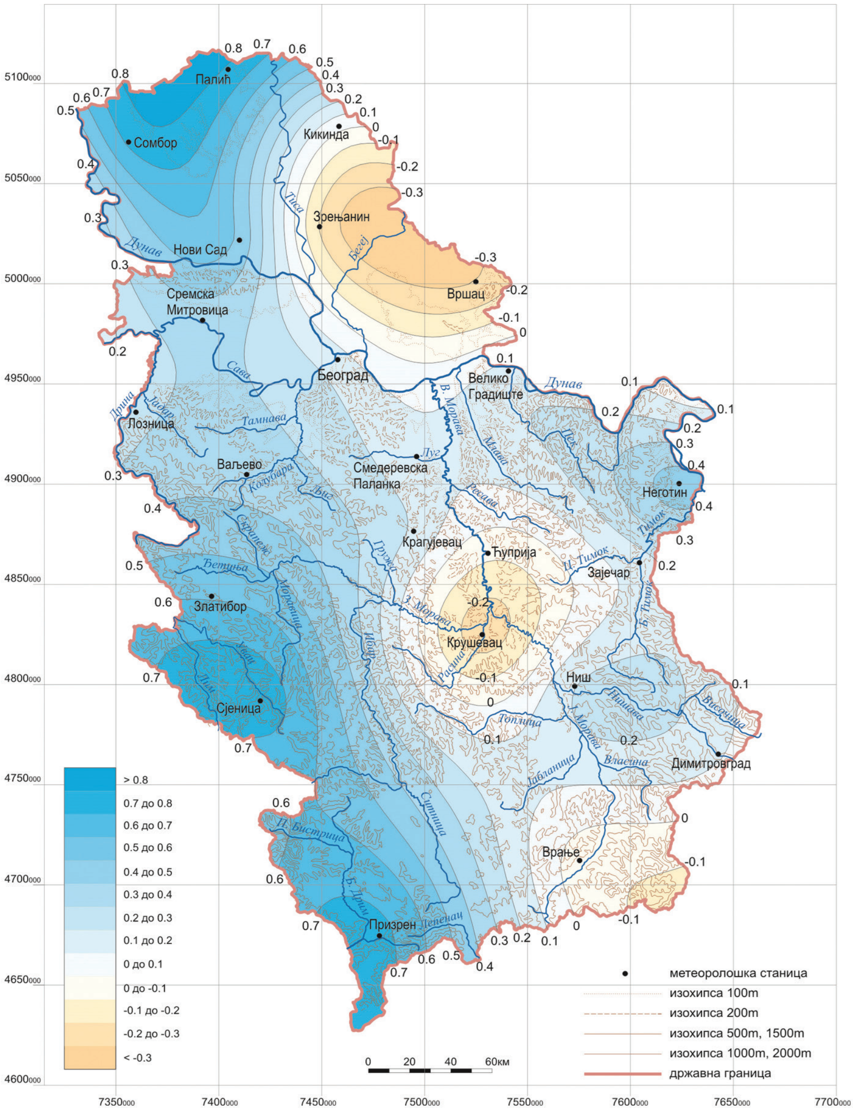
Карта 8. Промене средњих зимских температура ваздуха (ºC/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



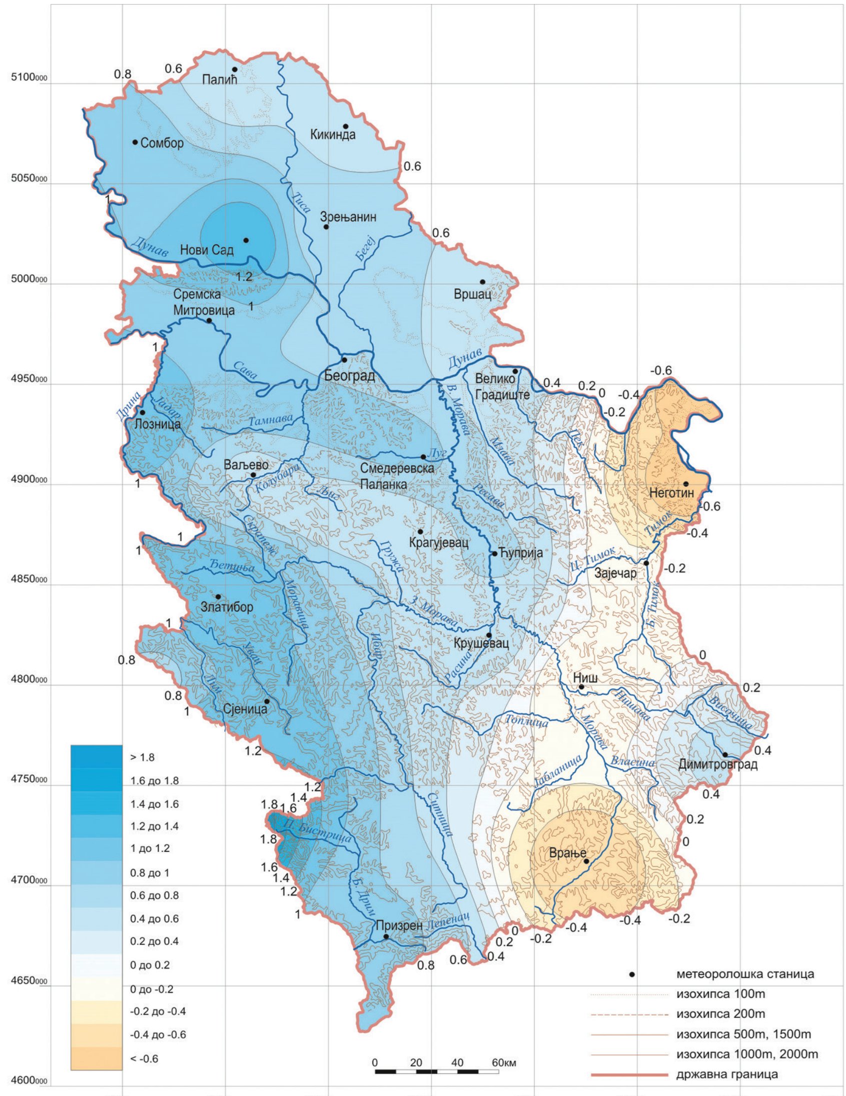
Карта 9. Промене средњих годишњих количина падавина (mm/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



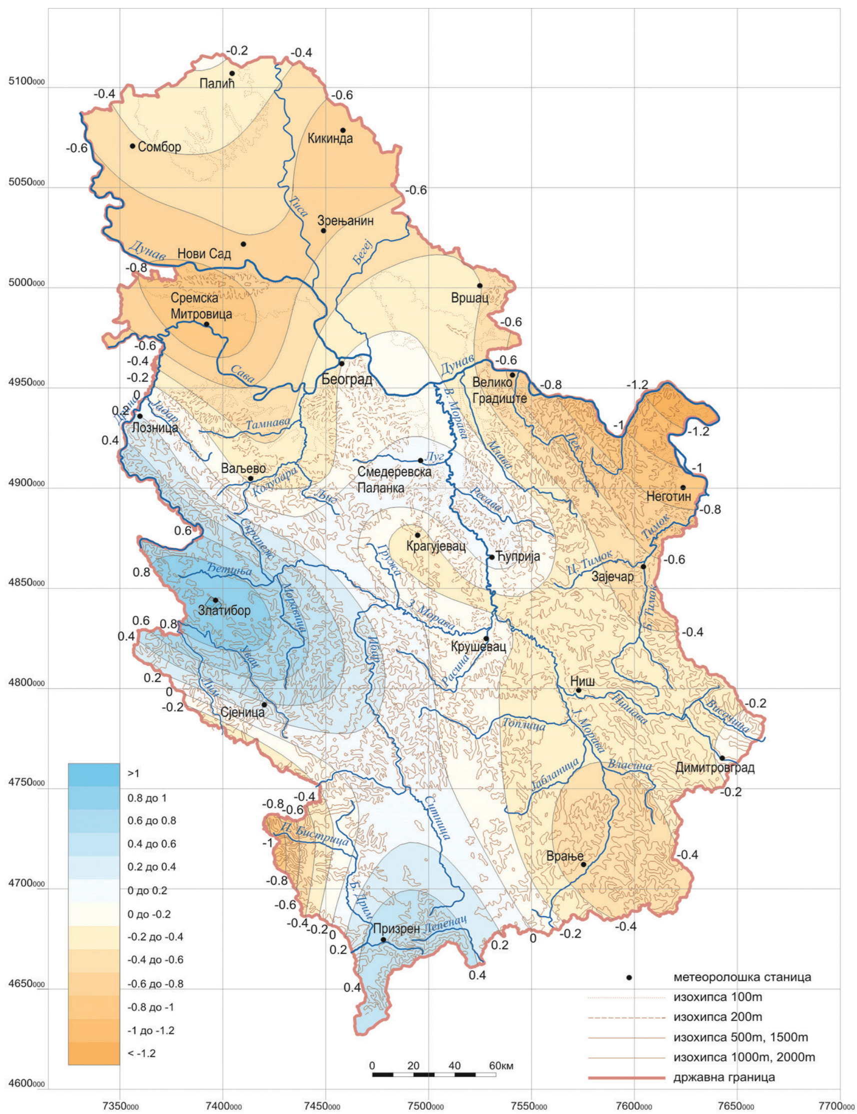
Карта 10. Промене средњих пролећних количина падавина (mm/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



Карта 11. Промене средњих летњих количина падавина (mm/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



Карта 12. Промене средњих јесењих количина падавина (mm/год.) у Србији у периоду 1949-2008.



Карта 13. Промене средњих зимских количина падавина (mm/год.) у Србији у периоду 1949-2008.

Закључак

Да ли и какве промене постоје у показатељима Сунчеве активности?

Анализом података о Соларној радијацији, поларним факулама на Сунцу, Сунчевим пегама (укључујући њихове површине и број група у којима се појављују) и индексу геомагнетне активности, установљено је да у Сунчевој активности постоје систематске флуктуације, при чему је код свих варијабли детектован „једанаестогодишњи“ циклус. У периоду од 1889–1995/1996, односно 1889-2008. година је код скоро свих коришћених показатеља Сунчеве активности присутан позитиван и статистички значајан тренд (p=0,05). Изузетак представља број поларних факула на Сунцу, код којих је присутан статистички значајан негативан тренд. У току последња два циклуса код аа индекса и броја Сунчевих пега постоји силазни тренд, док је код поларних факула у периоду 1980–1999. година дошло до повећања активности (код сваког од поменутих показатеља постоји статистичка значајност тренда на p=0,01).

Да ли постоји веза између Сунчеве активности и компоненти климатског система? Који показатељи Сунчеве активности имају утицај на поједине компоненте климатског система?

Испитивањем односа између Сунчеве активности и циркулације атмосфере на различитим временским скалама дошло се до закључка да између њих постоји повезаност. Иако на сезонском и годишњем нивоу везе у појединим комбинацијама показују статистичку значајност, њихов практични значај је мали ($R^2 \approx 0,1$). Међутим, када се због „изоловања“ везе користе покретне декадне вредности, коефицијент корелације расте и креће се у класи јаких или веома јаких. Да би се додатно проверио поменути однос искоришћени су вишеструка линеарна регресија и мултиваријантни адаптивни регресиони сплинови, при чему је обема процедурама захваћен веома висок проценат варијансе у зависним варијаблама, односно показатељима циркулације атмосфере (ако се изузму вредности за географску ширину Исландског минимума и интензитет Азорског максимума). У вишеструкој линеарној регресији вредности R^2 се крећу од 0,572 за меридионално струјање – C форма по Вангенгајм-Гирс типологији до 0,825 за зонално струјање, односно W форму по Вангенгајм-Гирс типологији. У МАРС техници R^2 се креће од 0,613 за интензитет Азорског максимума до 0,961 за W форму по Вангенгајм-Гирс типологији.

Проблем високе мултиколинеарности између показатеља Сунчеве активности решен је риџ регресијом, чији су резултати упоређени са налазима добијеним МАРС техником. Показало се да се оваквим приступом издвајају различити парови/триплети предиктора, при чему су најзаступљеније Сунчеве пеге и Соларна радијација (12, односно 10), а најмања је честина аа индекса. У девет од десет случајева постоји најмање по једна заједничка независна варијабла, што указује да се триангулацијом метода стичу поузданији налази. Нешто већа фреквенција броја Сунчевих пега и Соларне радијације у оквиру укупног броја појављивања предиктора би могла да указује на већи значај ових показатеља Сунчеве активности. На крају, може се закључити да у погледу повезаности Сунчеве активности и циркулације атмосфере, резултати указују на несумњиво значајну везу између посматраних варијабли. Међутим, у погледу издвајања предиктора који су најзначајнији у поменутом односу, није могуће доћи до конзистентног закључка.

Код одступања температуре океана на Северној хемисфери и код одступања температуре океана на глобалном нивоу уочавају се циклуси у трајању од око 13,25 и 21,2 године који су по дужини блиски Сунчевим циклусима (Швабеовом и Хејловом). Корелациона анализа, на годишњем нивоу, коришћених варијабли указује на постојање статистички значајне везе између Сунчеве активности и промена температуре Светског мора, односно одступања температуре океана Северне хемисфере. На овом (годишњем) нивоу корелације се крећу у класи слабих (изузев односа аа индекс/одступања температуре океана на глобалном нивоу где је корелација у класи јаких), док на покретном декадном нивоу постоје статистички значајне корелације, које се у највећем броју случајева крећу у класи јаких или веома јаких.

Употребом различитих процедура анализе података нисмо успели да пронађемо значајну повезаност између појаве Ел Ниња и промена у посматраним показатељима Сунчеве активности. Међутим, употребом дизајна суперпонираних епоха и применом Вилкоксоновог теста детектован је Ел Нињо „сигнал“ у одступањима температуре океана Северне хемисфере. Када се због међугодишњих колебања у оквиру климатског система (узрокованих, између осталог, и појавом Ел Ниња) вредности варијабли уравнају на покретне декадне вредности, коефицијенти корелације значајно расту и крећу се у класи јаких или веома јаких.

Различитим процедурама је установљена значајна повезаност између укупне Сунчеве активности и промена температуре Светског мора (односно његових појединих делова). Када се посматрају покретне декадне вредности, применом вишеструке линеарне регресије се захваћеност варијансе зависних варијабли креће од 0,690 до 0,888 (69–89%). Применом МАРС технике захваћеност варијансе критеријумских варијабли расте и креће се од 0,874 до 0,935 (87–94%). Међутим, као и код испитивања односа између Сунчеве активности и атмосфере, различити парови/триплети предиктора онемогућавају доношење конзистентног закључка о томе који од показатеља Сунчеве активности има водећу улогу у поменутом односу.

Да ли климатски подаци из Србије садрже „отисак“ снажних вулканских ерупција?

Анализом детрендизованих сезонских и годишњих вредности температуре ваздуха у Београду, испитан је (могући) утицај снажних вулканских ерупција. Показало се да је на годишњем нивоу највеће негативно одступање температуре ваздуха у Београду у години у којој је дошло до ерупције. И прва и друга година након ерупције су нешто хладније од оних које претходе ерупцији. Најизраженије смањење температуре у години ерупције постоји код пролећних температура ваздуха (статистички значајно су ниже ($p=0,05$) него температуре ваздуха и у годинама пре и у годинама након ерупције.). Летње и јесење температуре су у години ерупције нешто више него у годинама које јој претходе, али су лета у првој и другој години након ерупције нешто хладнија. Одступања зимске температуре ваздуха у првој години након ерупције су изразито негативна, док је тек друга зима након ерупције знатно топлија. Између ове две године такође постоји статистички значајна разлика на $p=0,05$.

Да ли и у којој мери промене у циркулацији атмосфере утичу на колебање климе у Србији?

Анализом података о НАО индексу, географској ширини, географској дужини и променама притиска у атлантским акционим центрима, као и података о циркулационим формама представљеним Вангенгајм-Гирс типологијом циркулације атмосфере, дошло се до следећих закључака:

1. Азорски максимум јача померањем према североистоку;
2. Померањем Исландског минимума према (југо)истоку, долази до пораста притиска у њему;
3. Пораст притиска у Азорском максимумуму прати пад притиска у Исландском минимуму (и његово померање према северозападу);
4. Смањење географске ширине Исландског минимума прати повлачење Азорског максимума на југ, и обрнуто, повећање географске ширине Азорског максимума прати померање Исландског минимума на север;
5. Постоји повезаност између посматраних елемената атлантских акционих центара и Вангенгајм-Гирс циркулационих форми која се глачањем низа на покретне декадне вредности појачава;
6. Зонално западно струјање, односно W циркулациона форма показује најјачу повезаност са положајем Азорског максимума, односно интензитетом и географском ширином Исландског минимума. Померањем на североисток Азорског максимума и Исландског минимума на југ, заједно са опадањем притиска у овом акционом центру, односно јачањем НАО индекса долази до потенцирања ове циркулационе форме;
7. Источно струјање, односно Е циркулациона форма је најјаче повезана са померањем Азорског максимума на југозапад, Исландског минимума на север и растом притиска у овом акционом центру.
8. С форма показује најснажнију корелацију са положајем и интензитетом притиска у Исландском минимуму (његовим померањем према југоистоку и порастом притиска у њему) и Азорском максимуму (опадањем притиска) долази до јачања меридионалног струјања.

Када се посматрају сезоне, код W циркулационе форме је најснажнија корелација у току зиме и пролећа са Азорским максимумом, док је у току лета и јесени израженија веза са Исландским минимумом. У току зиме постоји и веома висока (позитивна) корелација са НАО индексом. Код Е циркулационе форме, у току јесени и зиме је наглашенија веза са Азорским максимумом. Током зиме постоји и висока (негативна) корелација са НАО индексом.

У току пролећа корелације су слабије (статистички значајне само са географском ширином Исландског минимума и географском дужином Азорског максимума), а у току лета су наглашеније са положајем Исландског минимума. Код меридионалне C циркулационе форме, корелације су у току свих сезона израженије са Исландским минимумом.

У зависности од доминантне циркулационе форме постоји статистички значајна разлика између средњих годишњих температура ваздуха у Србији. При доминацији W циркулационе форме, средња годишња температура значајно је виша него у годинама у којима доминирају E и C циркулационе форме. Када су у питању падавине, не постоје статистички значајне разлике њихових средњих вредности, али постоје значајне разлике између варијабилитета падавина при W и C, односно E и C циркулационим формама.

Између зоналне W и температуре ваздуха у Србији постоји веома висока позитивна веза. Између меридионалне C форме и температуре ваздуха у Србији постоји статистички значајна позитивна корелација која је знатно мања од претходно поменуте. Највиша (негативна) корелација постоји између E форме и температуре ваздуха у Србији. Важно је напоменути и да према Savić et al. (2015) постоји снажна веза између поменутих циркулационих форми и екстремних температура ваздуха у Србији, односно Војводини. Када се посматра заједнички утицај циркулационих форми на температуру ваздуха у Србији, највећи проценат варијансе (око 80%) се захвата када се у модел укључе само по два типа циркулационих форми, при чему се у односу на просте корелације, повећање захваћености варијансе од 7% постиже укључивањем W и C циркулационе форме.

Корелације између Вангенгајм-Гирс циркулационих форми и количине падавина у Србији су знатно ниже него што је то случај са температурама ваздуха. Значајна негативна веза постоји између W форме и количине падавина у Србији, док између E форме и количине падавина у Србији постоји статистички значајна позитивна корелација. Меридионална C форма не показује значајну повезаност са падавинама у Србији. Укључивањем у модел већег броја циркулационих форми се не постиже повећање захваћености варијансе.

Какав је просторни аспект колебања климе у Србији?

Коришћењем низова података о температури ваздуха и количини падавина са 23 станице у Србији, испитана је просторна расподела промена ових климатских елемената у периоду 1949–2008. година.

Показало се да је на скоро читавој територији (изузев крајњег југа, односно југоистока Србије) присутан тренд пораста средње годишње температуре ваздуха. Овакав тренд је најизраженији на скоро читавом простору Војводине, северном и северозападном делу централне Србије, долини Великог Тимока и Неготинској крајини и на западу и југозападу Србије.

Када се посматра средња годишња количина падавина, кластерском анализом је издвојено шест засебних целина. Пораст средње годишње количине падавина је присутан у пет од шест кластера, а најизраженији је на западу и југозападу Србије. Смањење количине падавина је присутно у долини Великог Тимока и у Неготинској крајини.

Анализом података о температури ваздуха са сваке од 23 посматране станице (на сезонском и годишњем нивоу) дошло се до следећих закључака. Средња годишња температура ваздуха порасла је на 22 станице (на 14 станица статистички значајно повећање). Највећи пораст температуре ваздуха бележе станице у Метохији, југозападној, западној и северозападној Србији, средњем и северном Банату, Бачкој, Београду и Неготинској крајини. Јужни и југоисточни део Србије бележи или незнатне позитивне промене (станица Врање са 0,001°C по години) или благо захлађење (Димитровград са -0,003°C по години). Пораст средње пролећне и средње летње температуре ваздуха је присутан на територији читаве Србије (на 18, односно 12 станица је статистички значајан). Највећи пораст је у Београду и Неготинској крајини. Средње јесење температуре на 22 станице показују силазни тренд (изузетак представља Лозница). Најизраженије смањење је у јужној и југоисточној Србији (статистички значајно у Димитровграду). На 18 станица је забележен пораст, а на 4 станице пад средњих зимских температура. Најизраженији пораст је у Неготинској крајини и на западу Србије, а најизраженији пад у југоисточној Србији.

Анализом података о количини падавина, дошло се до следећих закључака. На 15 станица је дошло до пораста, а на 8 станица до смањења средње годишње количине падавина. Пораст је најинтензивнији у Метохији, западној, југозападној и северозападној Србији, а смањење је евидентирано у Неготинској крајини. У току пролећних месеци, на 13 станица је дошло до смањења, а на 10 до повећања количине падавина. Као и код средњих годишњих количина падавина, највећи пад бележи Неготинска крајина (статистички значајан), а највећи пораст Метохија, западна, југозападна и северозападна Србија. Средње летње количине падавина су порасле на 18 станица, при чему је највећи пораст на северу Бачке, а пад у средњем и јужном Банату. Код средњих јесењих количина падавина, на 19 станица је дошло до пораста, а на 4 до смањења количине падавина. Највећи раст бележе станице лоциране на југу Бачке и Срему (статистички значајан), северозападној и западној Србији, а највећи пад станице у Неготинској крајини и долини Великог Тимока и на југу Србије. Свега 6 станица бележи пораст, док је на 17 станица присутан пад средњих зимских количина падавина. Највећи пораст бележе станице лоциране у Метохији, југозападу и на западу Србије (статистички значајан на станици Златибор), док је највећи пад присутан у Срему (статистички значајан) и у Неготинској крајини.

Summary

There are two hypothesis investigated in this work: 1. There is connection between Solar activity and climate system of the Earth; 2. Climate changes in Serbia are connected with changes in the atmospheric circulation.

The research problem could be expressed through the question: Is there an influence of Solar and volcanic activity on the certain components of the Earth's climate system and consequently on climate changes in Serbia? In an attempt to answer this question, by use of different statistical procedures, several tasks were acomplished: analysis of the Solar activity, analysis of connection between Solar activity and atmospheric circulation, analysis of connection between Solar activity sea surface temperature, analysis of connection between atmospheric circulation and climate in Serbia, analysis of connection between volcanic activity and climate in Serbia, temporal and spatial analysis of air temperature and precipitation in Serbia.

Some of the conclusions made in this work are: There is statistically significant increase in Solar activity; there is strong correlation between Solar activity and atmospheric circulation, but it is not possible to determine which indicator of Solar activity is the most important one; there is strong correlation between Solar activity and sea surface temperature; sea surface temperature have cycles of similar length with Solar cycles (13,2 и 21,2 years); strong volacanic eruptions could be detected in the air temperature data from Serbia; there is strong correlation between atmospheric circulation and air temperature and precipitation amount in Serbia; certain parts of Serbia became warmer and certain parts became colder; there are parts of Serbia with increasing trend of precipitation and other parts with decreasing trend of precipitation.

Key words: Solar activity, volcanic activity, Earth's climate system, atmosphere, climate, Serbia

Списак скраћеница

АО – Арктичка осцилација

ВарИГ – Варијанса између група

ВарУГ – Варијанса унутар група

ВЕ индекс – Индекс вулканске експлозивности (Volcanic Explosivity index)

ГДАМ – Географска дужина Азорског максимума

ГДИМ – Географска дужина Исландског минимума

ГШАМ – Географска ширина Азорског максимума

ГШИМ – Географска ширина Исландског минимума

ДВ индекс – Индекс замућености Земљине атмосфере вулканском прашином (Dust Veil index)

df – Степени слободе (degrees of freedom)

енг. – Енглески

ЕНСО (ENSO) – Ел Нињо Јужна осцилација (El Nino Southern Oscillation)

ЕСП – Елементарни синоптички процес

ИАМ – Интензитет Азорског максимума

ИИМ – Интензитет Исландског минимума

ИМО – Индекс Медитеранске осцилације

N – број случајева

НАО – Северноатлантска осцилација

ОГТО – Одступање температуре океана на глобалном нивоу

ОТОСХ – Одступање температуре океана на Северној хемисфери

p ниво – Ниво значајности

рус. – Руски

СВ – средња вредност

СКИГ – Сума квадрата између група

СКУГ – Сума квадрата унутар група

Ст. дев. – Стандардна девијација

Тср – средња температура ваздуха

фр. – Француски

Литература

Гајић Д. (2005). *Физика сунца.* Природно-математички факултет - Универзитет у Нишу, Просвета, стр. 1-270.

Гирс, А. А. (1960). О причинах и проявления многолетних колебания циркуляции атмосферы. *Известия Академии Наук СССР – серия географическая* 6.

Дукић Д, Гавриловић Љ. (2006). *Хидрологија.* Завод за уџбеникеи наставна средства, стр. 1-386.

Дуцић В. (1999). *Антропогени утицаји на колебање климата у Србији.* Докторска дисертација. Географски факултет, Универзитет у Београду, стр. 1–249.

Дуцић В, Луковић Ј, Миловановић Б. (2008). Промене температура и падавина у Србији у другој половини XX века у склопу глобалних климатских промена. *Први симпозијум „Заштита природе у Србији“, Заштита природе 60/1-2*, стр. 641-653, Завод за заштиту природе Србије, Београд.

Малишић Ј. (2002). *Временске серије.* Математички факултет, Универзитет у Београду. стр. 1-304.

Миловановић Б, Радовановић М. (2009). Повезаност Сунчеве активности и циркулације атмосфере у периоду 1891-2004. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић” САНУ*, 59 (1), стр. 35-48.

Миловановић Б, Радовановић М, Дуцић В. (2009). Удвојени систем океан-атмосфера–повезаност температуре воде субполарног Атлантика, Исландског минимума и температуре ваздуха у Србији. *Гласник Српског географског друштва*, св. LXXXIX, стр.165-175.

Миловановић Б, Радовановић М, Јојић-Главоњић Т. (2010). Повезаност температуре воде субтропског Атлантика, Азорског максимума и температуре ваздуха у Србији. *Гласник Српског географског друштва*, св. LXXXX, стр.69-84.

Угрюмов А.И. (2006). *Долгосрочные метеорологические прогнозы. Учебное пособие.* Санкт-Петербург, РГГМУ, стр. 84.

Ункашевић М. (1994). *Клима Београда*. Научна књига. Стр. 1-122.

Ammann C, Naveau P. (2003). Statistical analysis of tropical explosive volcanism occurrences over the last 6 centuries. *Geophysical Research Letters*. vol. 30/5, doi:10.1029/2002GL016388.

Benestad, E. R. (2006) *Solar Activity and Earth's Climate*. Second edition. Chichester, Springer-Praxis. pp. 1-299.

Bigg G. (2003). *The Oceans and Climate.* Second Edition. Cambridge University Press, pp. 1-273.

Bjerknes J. (1964). Atlantic air-sea interaction. *Adv. Geophys.* 10, pp.1-82

Briffa K. R, Jones P. D, Schweingruber F. H, Osborn T. J. (1998). Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature,* vol. 393, pp. 449-454.

Camp C.D, Tung K.K. (2007). Surface warming by the solar cycle as revealed by the composite mean difference projection. *Geophysical Research Letters.* 34, doi:10.1029/2007GL030207.

Carver R.P. (1978). The case against statistical significance testing. *Harvard Educational Review* 48, pp. 378-399.

Christiansen F, Haigh J. D, Ludstedt H. (2007). *Influence of Solar Activity Cycles on Earth's Climate.* Executive Summary Report on ISAC (Influence of Solar Activity Cycles on Earth's Climate). European Space Agency - Earth Observation Programmes. pp. 1-47.

Christoforou P, Hameed S. (1997). Solar cycle and the Pacific 'centers of action'. *Gephysical Research Letters 24 (3), pp. 293-296*

Clilverd M.A, Clark T.D.G, Clark E, Rishbeth H. (1998). Increased magnetic storm activity from 1868 to 1995. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 60, pp. 1047-1056.

Cliver E.W, Boriakoff V, Feynman J. (1998). Solar variability and climate change-Geomagnetic aa index and global surface temperature. *Geophysical Research letters*, vol. 25/ 7, pp.1035-103.

Cliver E. W, Boriakoff V, Bounar K. H. (1998). Geomagnetic activity and the solar wind during the Maunder Minimum. *Geophysical research letters* 25 (6), pp. 897-900.

Cohen J, Cohen C, West G.S, Aiken S.L. (2003). Applied Multiple Regression/Correlation Analysis in the Behavioral Sciences. Third edition. Lawrence Erlbaum Associates. Available from: http://books.google.com/books?id=fuq94a8C0ioC&pg [Accessed 12 February 2009].

Cortina J. M, Dunlap W. P. (1997). Logic and purpose of significance testing. *Psychological Methods* 2, pp. 161-172.

Cristiansen B. (2008). Volcanic Eruptions, Large-Scale Modes in the Northern Hemisphere, and the El Niño–Southern Oscillation. *J. Climate*. vol. 21, pp. 910-922.

Czaja A, Frankignoul C. (1999). Influence of the North Atlantic SST on the atmospheric Circulation. *Geophysical Research Letters*. Vol. 26, pp. 2969-2972.

Czaja A, Frankignoul C. (2002). Observed impact of Atlantic SST anomalies on the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 15, pp. 606–615.

de Jager C. (2005). Solar Forcing of Climate. 1: Solar Variability. *Space Science Reviews* 120, pp. 197-241.

Douglass D.H, Clader B.D. (2002). Climate sensitivity of the Earth to solar irradiance. *Geophysical Research Letters*. Vol. 29/16. 16, 10.1029/2002GL015345

Ducić V, Milovanović B, Đurđić S. (2011). Identification of recent factors that affect the formation of the upper tree line in eastern Serbia.
Archives of Biological Sciences, 63(3):825-830.

Ducić V, Milovanović B, Stanojević G, Milenković M, Ćurčić N. (2015). Tropical temperature altitude amplification in the hiatus period (1998-2012). *Thermal Science 19 (suppl.2)*, 371-379. doi:10.2298/TSCI150410103D

Dumanskaya I.O, Fedorenko A.V. (2008). Analysis of the Connection of Ice Cover Parameters of the Non-Arctic Seas in the European Part of Russia with Global Atmospheric Processes. *Russian Meteorology and Hydrology 12*, pp. 82–95.

Dunlop S. (2001). *Oxford Dictionary of Weather*. Oxford University Press. pp. 1-268.

Dzerdzeevski B.L. (1963). Fluctuations of general circulation of the atmosphere and climate in the twentieth century. In: *Changes of Climate*, Arid Zone Research 20, UNESCO, Paris, pp. 285–95.

Egorov A. G. (2008). Two Types of the Surface Pressure Oscillations in the Extra-tropical Zone of the Northern Hemisphere Depending on Long-term Variations of Solar Activity. *Russian Meteorology and Hydrology* 33(10)*, pp. 614–623.*

Eschenbach W. (2010). The Thunderstorm Thermostat Hypothesis: How Clouds and Thunderstorms Control the Earth's Temperature. *Energy & Environment*. Vol. 21/4, pp. 201-217.

Feynman J. (2007). Has solar variability caused climate change that affected human culture? *Advances in Space Research*, vol. 40, pp. 1173-1180.

Fischer E. M, Luterbacher J, Zorita E, Tett S. F.B, Casty C, Wanner H. (2007). European climate response to tropical volcanic eruptions over the last half millennium, *Geophysical Research Letters*, vol. 34, pp. 1-6.

Forsyth P.Y. (1988). In the wake of Etna, 44 BC. *Classical Antiquity* 7, pp. 49-57.

Friis-Christensen E, Svensmark H. (1997). What do we really know about the Sun – Climate connection? *Advances in Space Research* 20, pp. 913-921.

Georgieva K, Kirov B, Tonev P, Guineva V, Atanasov D. (2007). Long-term variations in the correlation between NAO and solar activity: The importance of north–south solar activity asymmetry for atmospheric circulation. *Advances in Space Research* 40, pp. 1152–1166

Girs A.A., Kondratovich K.V. (1978). Methods of Long Term Weather Forecasts. Gidrometeoizdat, Leningrad. pp. 1-137.

Graf H.F, Li Q, Giorgetta M.A. (2007). Volcanic effects on climate: revisiting the mechanisms. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, vol. 7, no. 2, pp. 3941-3962.

Gray L.J, Haigh J.D, Harrison R.G. (2005). *The Influence of Solar Changes on Earth's Climate - Hadley Centre technical note 62*. Exeter-Devon, Met office.

Greatbatch R. J. (2000). The North Atlantic Oscillation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. Springer-Verlag, 14 (4/5), pp. 213-242.

Guba E. G, Linkoln Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In: Handbook of Qualitative Research. Denzin N. K, Linkoln Y. S. (Eds). pp. 105-117. Thousand Oaks CA. Sage.

Haigh J. D. (2007). Introduction. The introductory chapter in Calisesi, Y., Bonnet, R. M., Gray, L., Langen, J., Lockwood, M., 2007. *Solar variability and Planetary Climates.* Space Science Series of the International Space Science Institute, Volume 23, Springer.

Harrison M. (2005). The development of seasonal and inter annual climate forecasting. *Climatic Change* 70, pp. 201–220.

Hartmann D.L. (2008). *Compositing or Superposed Epoch Analysis*. ATM 552 Notes http://www.atmos.washington.edu/~dennis/552_Notes_2.pdf [Accessed 20 August 2011].

Herschel, W., (1801a). Observations tending to investigate the Nature of the Sun, in order to find the Causes or Symptoms of its variable Emission of Light and Heat; with Remarks on the Use that may possibly be drawn from Solar Observations. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, pp. 265 - 301.

Herschel W. (1801b). Additional Observations tending to investigate the Symptoms of the variable Emission of the Light and Heat of the Sun; with Trials to set aside darkening Glasses, by transmitting the Solar Rays through Liquids; and a few Remarks to remove Objections that might be made against some of the Arguments contained in the former Paper. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, pp. 354 - 363.

Hoyt D.V, Schatten K.H. (1997). *The Role of the Sun in Climate Change*, Oxford University Press, New York, pp. 279.

Hurrell J.M, van Loon H. (1997). Decadal Variations in Climate Associated with the North Atlantic Oscillation*. Climatic Change* 36. pp 301–326.

Jaagus J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theor. Appl. Climatol.* 83, pp. 77–88.

Johnson D.H. (1999). The Insignificance of Statistical Testing. *Jornal of Wildlife Management* 63 (3), pp. 763-772.

Kapala A, Machel H, Flohn H. (1998). Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part II: Associations with regional climate anomalies. *Int. J. Climatology, 18, pp.* 23-36.

Kirov B, Georgieva K. (2002). Long-term variations and interrelations of ENSO, NAO and solar activity. *Phys. Chem. Earth*, Parts A/B/C 27 (6–8), pp. 441–448.

Kodera K. (2002). Solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation: Implication in the spatial structure of the NAO. *Geophysical research letters* 29/ 8, 1218, 10.1029/2001GL014557

Kovaltsov G.A, Usoskin I.G. (2007). Regional cosmic ray induced ionization and geomagnetic field changes. *Advances in Geosciences*, 13, pp. 31-35.

Labitzke K, van Loon H. (1998) Association between the 11-yr Solar Cycle, the QBO, and the Atmosphere. Part III: Aspects of the association. *Journal of Climate* 2, pp. 554-565.

Lamb H.H. (1970). Volcanic Dust in the Atmosphere; with a Chronology and Assessment of Its Meteorological Significance. *Philosophical Transactions of Royal Society. A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* vol. 266, no. 1178, pp. 425-533.

Lamb H. H. (1977). Supplementary volcanic dust veil assessments. *Clim. Monit., 6,* pp. 57-67.

Lean, J. (2000).Evolution of the Sun's Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum. *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, No. 16, pp. 2425-2428.

Levin J.R. (1998). What if there were no more bickering about statistical significance tests? *Research in the Schools* 5 (2), pp. 43-53.

Livezey R.E, Leetmaa A, Masutani M, Rui H, Ji M, Kumar A. (1997). Teleconnective response of the Pacific-North American region atmosphere to large central equatorial Pacific SST anomalies. *J. Climate*, 10, pp. 1787-1819.
(http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/1998/enso/10elnino.htm)

Lockwood M, Fröhlich C. (2007). Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature. *Proceedings of Royal Society* 463. doi:10.1098/rspa.2007.1880

Lockwood M, Harrison R.G, Woollings T, Solanki, S.K. (2010) Are cold winters in Europe associated with low solar activity? *Environ. Res. Lett. 5,* doi:10.1088/1748-9326/5/2/024001

Lockwood M, Stamper R. (1999). Long-term drift of the coronal source magnetic flux and the total solar irradiance. *Geophys. Res. Lett.* 26, pp. 2461-2464.

Lockwood M, Stamper R, Wild M. N. (1999). A doubling of the Sun's coronal magnetic field during the past 100 years. *Nature* 399, pp. 437-439.

López-Moreno J.I, Vicente-Serrano S.M, Morán-Tejeda E, Lorenzo-Lacruz J, Kenawy A, Beniston M. (2011). Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: Observed relationships and projections for the 21st century. *Global and Planetary Change.* 77, pp. 62–76.

Makarov V. I, Makarova V.V. (1996). Polar faculae and sunspot cycles. *Solar Physics* 163, pp. 267-289.

Malinovic-Milicevic S, Radovanovic M. M, Stanojevic G, Milovanovic B. (2016). Recent changes in Serbian climate extreme indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology,* Vol. 124 Issue 3/4, p1089-1098.

Mann M.E, Bradley R.S, Hughes M.K. (1998). Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature.* Vol. 392, pp. 779-787.

Marshall J, Kushnir J, Battisti D, Chang P, Czaja A, Dickson R, Hurell J, McCarrtney M, Saravanan R, Visbeck M. (2001). North Atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms. *International Journal of Climatology,* 21, pp. 1863-1898.

Mass C, Robock A. (1982). The short-term influence of the Mount St. Helens volcanic eruption on surface temperature in the northwest United States, *Mon. Weather Rev.,* 110, pp. 614–622.

Mass C.F, Portman D.A. (1989). Major Volcanic Eruptions and Climate: A Critical Evaluation. *Journal of Climate*, vol. 2, pp. 566-593.

Mathison, S. (1988). Why triangulate? *Educational Researcher*, 17(2), 13-17.

McGregor G.R. (2006). Climatology: Its Scientific Nature and Scope. Editorial. *Int. J. Climatol.* 26, pp. 1–5.

Meehl G.A, Arblaster J.M, Branstator G. van Loon H. (2008). A Coupled Air–Sea Response Mechanism to Solar Forcing in the Pacific Region. *Journal of Climate*, Vol. 21 Issue 12, pp. 2883-2897.

Meldrum C. (1872). On a periodicity in the frequency of cyclones in the Indian Ocean south of the equator. *Nature*, 6, 357-358.

Meldrum C. (1872). On a periodicity in the frequency of cyclones in the Indian Ocean south of the equator. *British Association Report*, 56-58.

Milenković M, Ducić V, Milovanović B. (2010). The infuence of the Solar flux at 2,8GHz on outbreaks of Gypsy Moth (Limantria dispar L.) (Lepidoptera: Lymantriidae) in Serbia, Archives of Biological Sciences, vol 62/4.

Msadek R, Frankignoul C, Li L.Z.X. (2011). Mechanisms of the atmospheric response to North Atlantic multidecadal variability: a model study. *Climate Dynamics* 36, pp. 1255-1276.

Msadek, R, Frankignoul, C. (2009). Atlantic multidecadal oceanic variability and its influence on the atmosphere in a climate model. *Climate Dynamics* 33, pp.45-62.

Machel H, Kapala A, Flohn H. (1998). Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. *Int. J. Climatology, 18, pp.* 1-22.

Newhall C. G, Self S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research* (87), pp. 1231–1238.

Palamara D. (2003) *Solar activity and recent climate change - Evaluating the impact of geomagnetic activity on atmospheric circulation.* PhD thesis, University of Wollongong.

Palutikof J.P, Conte M, Casimiro Mendes J, Goodes C.M, Espirito Santo F. (1996). *Mediterranean Desertification and Land Use*, Chapter 4, “Climate and Climatic Change”, John Wiley & Sons, Ltd.

Пантић Н. (2001). Милутин Миланковић. Живот и дело српских научника 7, САНУ, Биографије и библиографије, стр. 173-225.

Pisek J, Brazdil R. (2006). Responses of Large Volcanic Eruptions in the Instrumental and Documentary Climatic Data Over Central Europe. *Int. J. Climatol.* 26, pp. 439–459.

Przybylak R. (2000). Diurnal Temperature Range in the Arctic and its Relation to the Hemispheric and Arctic Circulation Patterns. *International Journal of Climatology* 20, pp 231–253.

Radovanovic M, Milovanovic B, Pavlovic M, Radivojevic A, Stevancevic M. (2013). The Connection between the Solar Wind Charged Particles and the Tornado – Case Analysis. *Nuclear Technology & Radiation Protection*: Vol. 28, No. 1, p. 52-59.

Reichel T, Thejll P, Lassen K. (2001). The cause-and-effect relationship of solar cycle length and the Northern Hemisphere air surface temperature. *Journal of Geophysical Research* 106 (8).

Reid G.C. (1991). Solar total irradiance variations and the global sea surface temperature record. *J. Geophys. Res. Vol.* 96, pp. 2835–2844.

Reid G.C. (1999). Solar variability and its implications for the human environment. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 50, pp. 3-14.

Ristić Ž. (2006). *O istraživanju, metodu i znanju.* Drugo izdanje. Beograd, Institut za pedagoška istraživanja, str. 1-456. Beograd.

Ristić Ž. (2011). *Kvantitativna, kvalitativna i mešovita istraživanja*–Metodološki aspekti. Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, str. 1-389.

Robock A, Mao J. (1995). The volcanic signal in surface temperature observations, *J. Clim.*, 8, pp. 1086–1103.

Robock A. (2000). Volcanic Eruptions and Climate. *Reviews of Geophysics*, 38, 2, pp. 191–219.

Rodwell M.J, Rowell D.P, Folland C.K. (1999). Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature.* vol. 398. pp. 320-323.

Rörsch A. (2010). Introductory paper on Paradigm Shift - Should We Change Emphasis in Greenhouse Effect Research?. *Energy & Environment*. Vol. 21/4, pp. 165-171.

Rozeboom W. W. (1960). The fallacy of the null hypothesis significance test. *Psychological Bulletin* 57, pp. 416-428.

Ruzmaikin A, Feynman J, Jiang X, Noone D.C, Waple A.M, Yung Y.L. (2004).The pattern of northern hemisphere surface air temperature during prolonged periods of low solar output., *Geophys. Res. Lett*ers. 31, L12201, doi:10.1029/2004GL019955.

Ruzmaikin A. (2007). Effect of solar variability on the Earth's climate patterns. *Advances in Space Research* 40, pp.1146–1151.

- Sato M, Hansen J.E, McCormick M.P, Pollack J.B. (1993). Stratospheric aerosol optical depth, 1850-1990. *J. Geophys. Res.* 98, pp. 22987-22994.

Savić, S., Milovanović, B., Lužanin, Z., Lazić, L., Dolinaj, D. (2015). The variability of extreme temperatures and their relationship with atmospheric circulation: the contribution of applying linear and quadratic models. *Theoretical and Applied Climatology, vol. 121/3, 591-604* DOI 10.1007/s00704-014-1263-3.

Sawyer A.G, Peter P. (1983). The Significance of Statistical Significance in Marketing *Research. Journal of Marketing Research* 20, pp. 122-133.

Sepp M, Jaagus J. (2002). Frequency of circulation patterns and air temperature variations in Europe. *Boreal Environmental Research* 7, pp. 273-279.

Šegota T. (1976). *Klimatologija za geografe.* Školska knjiga, Zagreb. str. 1-481.

Shah G.N, Mufti S. (2005). Anti-podal Geomagnetic activity, Sea surface temperature and long-term solar variations. 29th International Cosmic Ray Conference Pune, pp. 101-104.

Shindell D. T, Schmidt G. A, Mann M. E, Rind D, Waple A. (2001). Solar Forcing of Regional Climate Change During the Maunder Minimum. Science 294, pp. 2149-2152.

Shindell D.T, Schmidt G.A, Miller L.R, Mann M.E. (2003). Volcanic and Solar Forcing of Climate Change during the Preindustrial Era. Journal of Climate. vol 16. pp. 4094-4107.

Sizov A.A. (2000). Interannual and seasonal variability of hydrometeorological fields in some regions of the Atlantic-European sector as a manifestation of the abnormal behaviour of the North-Atlantic Oscillation**.** *Phys. Oceanogr,* Vol. l1, No. 3, pp. 259-270.

Slonosky V.C, Jones P.D, Davies V.C. (2001). Atmospheric circulation and surface temperature in Europe since 18th century to 1995. *Int. J. Climatol*. 21, pp. 63–75.
Solanki S.K, Fligge M. (1998). Solar Irradiance since 1874 Revisited. *Geophysical Research letters*, vol. 25/3, pp 341-344.

Stenchikov G, Hamilton K, Stouffer R.J, Robock A, Ramaswamy V, Santer B, Graf H.F. (2006). Arctic Oscillation response to volcanic eruptions in the IPCC AR4 climate models. *J. Geophys. Res. Vol. 111.* doi:10.1029/2005JD006286

Stenchikov G. L., Kirchner I, Robock A, Graf H.-F, Antuna J. C, Grainger R. G, Lambert A, Thomason L. (1998). Radiative forcing from the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption, *J. Geophys. Res*., 103, pp. 13,837–13,857.

Sutton R.T, Hodson D.L.R. (2003). Influence of the Ocean on North Atlantic Climate Variability 1871-1999. *Journal of Climate16*, pp. 3296–3314.

Sutton R. T, Hodson D. L. R. (2007). Climate Response to Basin-Scale Warming and Cooling of the North Atlantic Ocean. *J. Climate*, 20, pp. 891–907.

Textor C, Graf H.F, Herzog M, Oberhuber J.M, Rose W. I, ErnstG.G.J. (2006). Volcanic particle aggregation in explosive_eruption columns. Part I: Parameterization of the microphysics of hydrometeors and ash. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *Volume 150, Issue 4*, pp. *359-377.*

Thejll P, Christiansen B, Gleisner H. (2003). On correlations between the North Atlantic Oscillation, geopotential heights, and geomagnetic activity. *Gephysical Research Letters* 30 (6). doi:10.129/2002GL016598

Tošić I, Unkašević M. (2005). Analysis of precipitation series for Belgrade. *Theor. Appl. Climatol.* 80, pp. 67–77.

Tošić I. (2004). *Analiza vremenskih serija temperature i padavina*. Doktorska disertacija. Fizički fakultet – Institut za meteorologiju, Univerzitet u Beogradu, str. 1-163.

Tourre Y. M, Rajagopalan B, Kushnir Y, Barlow M, White W. B. (2001). Patterns of coherent decadal and interdecadal climate signals in the Pacific Basin during the 20th century. *Geophys. Res. Lett*ers. 28, pp. 2069–2072.

Tung K.K, Camp C. D. (2008). Solar-cycle warming at the earth's surface in NCEP and ERA-40 data: A linear discriminant analysis. *J. Geophys. Res.* 113, doi: 10.1029/2007JD009164.

Unkašević M., Tošić I, Vujović D. (2004). Variability and probability of annual and extreme precipitation over Serbia and Montenegro. *Theor. Appl. Climatol*. 79, pp.103–109.

van Loon H, Meehl G.A, Shea D.J. (2007). Coupled air-sea response to solar forcing in the Pacific region during northern winter. *Journal of Geophysical Research.* doi:10.1029/2006JD007378

Veretenenko S.V, Dergachev, V.A, Dmitriev, P.B. (2005). Long-term variations of the surface pressure in the North Atlantic and possible association with solar activity and galactic cosmic rays. *Advances in Space Research* 35, pp. 484–490.

Versteegh G.J.M. (2005). Solar Forcing of Climate 2: Evidence From the Past. *Space Science Reviews* 120, pp. 243–286.

Vyklyuk Y, Radovanović M, Milovanović B, Leko T, Milenković M, Milošević Z,Milanović Pešić A, Jakovljević D. (2016). Hurricane Genesis Modelling Based on the Relationship Between Solar Activity and Hurricanes. *Natural Hazards*

Waliser D. (1996). Climate Controls on High Sea Surface Temperatures. *World Resource Review*. 8, pp. 289-310.

Wang G, Dolman A.J, Alessandri A. (2011). A summer climate regime over Europe modulated by the North Atlantic Oscillation. *Hydrology and Earth System Science*. 15, pp. 57–64.

Weng H. (2005). The influence of 11yr solar cycle on the interannual/centennial climate variability, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67, p. 793-805.

White D, Korotayev A. (2004). Statistical Analysis of Cross-Tabs – Chapter 5. Available from: http://eclectic.ss.uci.edu/~drwhite/xc/!XC-BK5.pdf [Accessed 20 June 2008].

White W.B, Cayan D.R, Dettinger M.D. (2003). Sources of global warming of the upper ocean on decadal period scales. *J. Geophys. Res.* vol. 108, no. C8, 3248, doi:10.1029/2002JC001396.

White W.B, Lean J.L, Cayan D.R, Dettinger M.D. (1997). Response of global upper ocean temperature to changing solar irradiance. *J. Geophys. Res.* 102, pp. 3255–3266.

White W.B, Lean J.L, Cayan D.R. (1998). Global upper ocean heat storage response to radiative forcing from changing solar irradiance and increasing greenhouse gas/aerosol concentrations. *J. Geophys. Res.* Vol 103. pp. 355-21 366.

White W.B, Liu Z. (2008). Non-linear alignment of El Nino to the 11-yr solar cycle., *Geophysical Research Letters*. vol. 35, L19607, doi:10.1029/2008GL034831

White W.B. (2006). Response of tropical global ocean temperature to the Sun's quasi-decadal UV radiative forcing of the stratosphere. *J. Geophys. Res.* vol. 111, C09020, doi:10.1029/2004JC002552

White W.B, Tourre Y.M. (2003). Global SST/SLP waves during the 20th century. Geophys. Res. Letters. 30, 1651, doi:10.1029/2003GL017055.

Zhou J, Tung K.K. (2010). Solar Cycles in 150 Years of Global Sea Surface Temperature Data. *Journal of Climate 23*, pp. 3234-3248.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

551.583(497.11)

МИЛОВАНОВИЋ, Бошко, 1974-
Природни фактори колебања климе у Србији / Бошко Миловановић. - Београд : САНУ, Географски институт "Јован Цвијић", 2017 (Београд : Колорграфикс). - 150 стр. : илустр. ; 25 cm. - (Посебна издања / Српска академија наука и уметности, Географски институт "Јован Цвијић" ; књ. 93)

На спор. насл. стр.: Natural Causes of Climate Variability in Serbia. - Summary. - Литература: стр. 141-150.

ISBN 978-86-80029-72-6

а) Климатске промене - Србија
COBISS.SR-ID 230418700